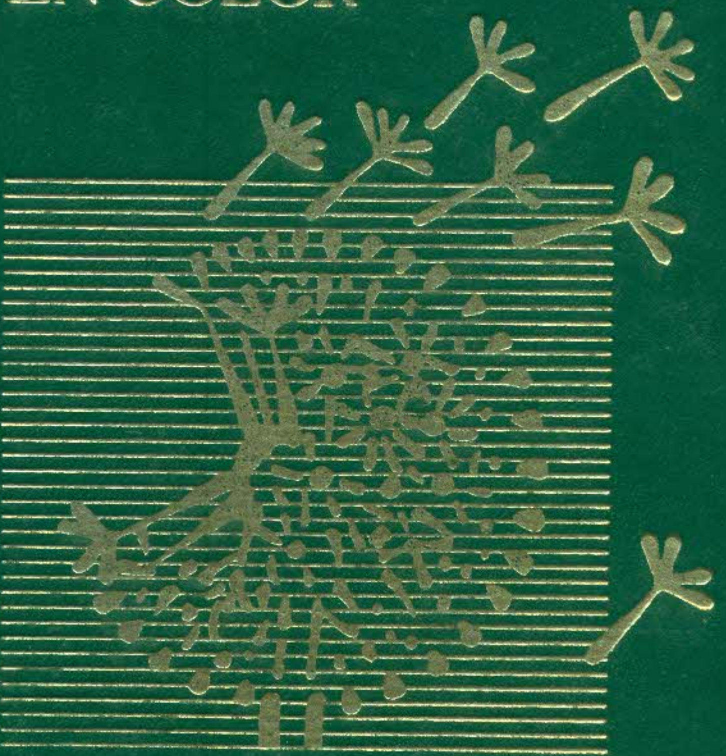
Larousse
enciclopedia científica
EN COLOR

3

Larousse
enciclopedia científica
EN COLOR



enciclopedia científica larousse en color 3

por
RAMÓN GARCÍA-PELAYO Y GROSS

Profesor de la Universidad de París (Sorbona)
Miembro c. de la Academia Argentina de Letras,
de la Academia de San Dionisio de Ciencias, Artes y Letras,
de la Academia Boliviana de la Historia
y de la Real Academia de Bellas Artes de San Telmo.



EDICIONES LAROUSSE
Marsella 53, C. P. 06600 México, D. F.
17, rue du Montparnasse — 75006 París
Valentín Gómez 3530 Buenos Aires R 13

HAN COLABORADO EN ESTA OBRA

redacción

FERNANDO GARCÍA-PELAYO Y GROSS
MICHELINE DURAND

JULIA ÁLVAREZ TAIBO (Química)
MIGUEL F. LAHOZ LEÓN (Matemáticas)
PEDRO MARÍN GARCÍA (Física)
JESÚS PÉREZ GALLEGO (Ciencias Naturales)

confección

MANUEL TARAZONA

corrección

FERNANDO GÓMEZ PELÁEZ

Revisión, agosto 1982

PRIMERA EDICIÓN—Séptima reimpresión

ISBN 2-03-450103-9 (Librairie Larousse, Edición completa)
ISBN 968-6042-70-9 (Ediciones Larousse, Edición completa))
ISBN 968-6042-73-3 (Ediciones Larousse, Tomo 3)

Impreso en México — Printed in Mexico



INDICE DE MATERIAS

TOMO I

MATEMÁTICAS

Reseña histórica 2
De la antigüedad a la Edad Media 2
Edades Moderna y Contemporánea 5

Álgebra y Aritmética 7

1. ELEMENTOS DE LA TEORÍA DE CONJUNTOS 7
Complemento a la teoría de conjuntos 10
2. CORRESPONDENCIA ENTRE CONJUNTOS. NÚMEROS NATURALES 11
Aplicación entre conjuntos 12
Relaciones 12
Números naturales 15
3. ESTRUCTURAS ALGEBRAICAS 16
Noción de semigrupo 17
Grupos y subgrupos 18
Permutaciones 21
Anillos 23
Números congruentes y clases residuales 25
Restos potenciales 27
Ecuaciones diofánticas 31
Cuerpos 31
4. ESPACIOS VECTORIALES 35
5. MATRICES Y DETERMINANTES 41
6. SISTEMAS DE ECUACIONES 46
7. POLINOMIOS 50
8. SISTEMA DE NUMERACIÓN 53
9. REPASO DE ARITMÉTICA Y ÁLGEBRA ELEMENTALES 57
Operaciones aritméticas fundamentales 57
Radicación de números naturales 63
Operaciones con fracciones 64
Números decimales 66
10. NÚMERO CONCRETO, SISTEMA MÉTRICO Y PROPORCIONALIDAD CONCRETA 73
Número concreto 73
Sistema Métrico 74
Proporcionalidad numérica 78
11. EXPRESIONES ALGEBRAICAS 85
Fracciones algebraicas 89
Ecuaciones e inecuaciones 90
Sistemas de ecuaciones 94
Ecuaciones de segundo grado con una incógnita 96
Ecuación bicuadrada 98
Trinomio de segundo grado 98
12. COMBINATORIA 105
Progresiones aritméticas y geométricas 110
13. LOGARITMOS 113
Cálculo logarítmico 115
Función exponencial 119
Interés compuesto y anualidades 120
Introducción a la regla de cálculo 121
14. ÁLGEBRA DE PROPOSICIONES 123
Álgebras booleanas 126
Cuantificadores 127

Análisis **127**

15. CUERPO DE LOS NÚMEROS REALES 127
Propiedades fundamentales de R 129
Topología de la recta real 130
Números complejos 132
16. SUCESIONES DE NÚMEROS REALES 135
Series de números reales 137
Funciones 139
Límite 140
Continuidad 143
17. DERIVACIÓN 146
Diferenciación 148
18. REPRESENTACIÓN DE CURVAS 151
Máximos y mínimos 152
Series funcionales 156
19. CÁLCULO INTEGRAL 158
Integral de Riemann-Stieljes 159
Integrales impropias 161
Aplicaciones de las integrales definidas 166

Geometría **169**

GEOMETRÍA PLANA 169
20. ÁNGULOS, POLÍGONOS Y CÍRCULOS 169
Ángulos y arcos 170
Polígonos 172
Circunferencia y círculo 174
Áreas de polígonos y figuras circulares 176
21. SEMEJANZAS DE TRIÁNGULOS 178
Proporcionalidad de segmentos 179
Relaciones métricas en el triángulo rectángulo 182
Polígonos regulares 184
Ángulos en la circunferencia 184

GEOMETRÍA DEL ESPACIO ... 186
22. PLANOS, POLIEDROS, CONOS Y ESFERAS ... 186
Planos y rectas paralelas ... 186
Rectas y planos perpendiculares ... 187
Poliedros, cilindro, cono y esfera ... 188
Áreas de las superficies de revolución ... 189
Volumen de los poliedros y cuerpos redondos ... 191
TRIGONOMETRÍA ... 192
Resolución de triángulos ... 200
GEOMETRÍA ANALÍTICA ... 203
Métrica del plano ... 208

INFORMÁTICA
El ordenador ... 213
Tratamiento de la información ... 216
División de la informática ... 217
Consideraciones finales ... 220
Índice alfabético ... i

INDICE DE MATERIAS
TOMO II

FÍSICA
1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN ... 222
2. MEDIDAS, ERRORES DE MEDIDA Y UNIDADES ... 223
3. NOCIONES DE CÁLCULO VECTORIAL ... 226
4. ESTADOS DE LA MATERIA ... 229
Mecánica ... **230**
5. CINEMÁTICA ... 231
6. ESTÁTICA ... 236
7. DINÁMICA ... 245
8. TRABAJO Y ENERGÍA ... 249
9. MÁQUINAS SIMPLES ... 252
Gravedad ... **254**
10. MEDIDA DE MASAS ... 255
11. MOVIMIENTOS VIBRATORIOS Y PÉNDULO ... 261
12. GRAVITACIÓN UNIVERSAL Y ASTRONÁUTICA ... 267
13. ESTÁTICA DE LOS FLUIDOS O HIDROSTÁTICA ... 275
14. DINÁMICA DE LOS FLUIDOS O HIDRODINÁMICA ... 282
15. CAPILARIDAD ... 285
Termología ... **287**
16. TEMPERATURA Y DILATACIÓN DE LOS CUERPOS ... 287
17. CALORIMETRÍA Y PROPAGACIÓN DEL CALOR ... 293
18. CAMBIOS DE ESTADO ... 298
19. DISOLUCIONES ... 306
20. TERMODINÁMICA ... 310
Movimiento Ondulatorio y Acústica ... **315**
21. MOVIMIENTO ONDULATORIO ... 315
22. ACÚSTICA ... 321
Óptica ... **326**
23. PROPAGACIÓN DE LUZ Y FOTOMETRÍA ... 326
24. REFLEXIÓN DE LUZ ... 331
25. REFRACCIÓN DE LUZ ... 336
26. LENTES ... 341
27. INSTRUMENTOS ÓPTICOS ... 347
28. ELEMENTOS DE ÓPTICA FÍSICA ... 354
Electricidad y Magnetismo ... **358**
29. CAMPO ELÉCTRICO Y POTENCIAL ... 360
30. INFLUENCIA ELÉCTRICA, CAPACIDAD Y CONDENSADORES ... 366
31. MAGNETISMO ... 372
32. ELECTRODINÁMICA ... 375
33. ELECTRÓLISIS, ACUMULADORES Y PILAS ... 382
34. ELECTROMAGNETISMO ... 387
35. CORRIENTES ALTERNAS ... 395
36. ELECTRÓNICA ... 400
Física Atómica y Radiaciones ... **406**
37. RADIACTIVIDAD NATURAL ... 406
38. RADIACTIVIDAD ARTIFICIAL ... 409
39. RADIACTIVIDAD Y ESPECTROS ... 412
40. MECÁNICA ONDULATORIA ... 415
41. TEORÍA DE LA RELATIVIDAD ... 417
Relatividad restringida ... 417
Relatividad general ... 422

TECNOLOGÍA
Metalurgia ... **424**
Siderurgia ... 426
Técnica de fundición y tratamientos térmicos ... 428
Labrado de los metales ... 431
Energía ... **433**
Carbón ... 433
Energía eléctrica ... 435
Otras fuentes de energía ... 440
Industria del Petróleo ... **441**
Explotación ... 443
Transporte y almacenamiento ... 444
Proceso industrial del petróleo ... 445
Productos del petróleo ... 447
Gases ... 449
Petroquímica ... 450
Otras Industrias ... **452**
Materias plásticas ... 452
Caucho ... 453

Textiles artificiales y sintéticos 454
Jabones y detergentes 454
Industria química mineral 455
Vidrio 457
Cemento 458
Industria papelera 459
Artes gráficas 460

Electrónica **465**
Comienzos de la electrónica 465
Televisión 467
Ojo electrónico o mágico 468
Electrónica sólida 470
Optoelectrónica 471

Telecomunicaciones **472**
Telegrafía 472
Telefonía 473
Radiocomunicación 474
Radar 475
Telecomunicaciones por satélite 476
Rayos laser y telecomunicaciones del futuro .. 478

Transportes **481**
Ferrocarril 482
Automóvil 486
Transporte aéreo 494
Transporte marítimo y fluvial 501

Índice alfabético i

INDICE DE MATERIAS

TOMO III

QUÍMICA

Química General **507**
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES 507
2. LEYES DE LA QUÍMICA 508
3. MASAS ATÓMICAS Y MOLECULARES 509
4. CLASIFICACIÓN PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS 511
5. VELOCIDAD DE REACCIÓN Y EQUILIBRIOS QUÍMICOS 513
6. CAMBIOS DE ENERGÍA EN LAS REACCIONES QUÍMICAS. TERMOQUÍMICA 514
7. ELECTRÓLISIS Y TEORÍA DE LOS IONES 516
8. ÁCIDOS, BASES Y SALES 516

Química inorgánica **518**
9. HIDRÓGENO 518
10. HALÓGENOS 519
    Flúor 519
    Cloro 520
    Bromo 522
    Yodo 523
    Astato 523
11. NO METALES DEL SEGUNDO GRUPO 524
    Oxígeno 524
    Azufre 527
    Selenio 532
    Telurio 532
12. NO METALES TRIVALENTES DEL GRUPO DEL NITRÓGENO 532
    Nitrógeno 533
    Fósforo 537
    Arsénico 540
    Antimonio 541
13. NO METALES TETRAVALENTES, CARBONOIDEOS 541
    Carbono 541
    Silicio 543
14. NO METALES DEL GRUPO DEL BORO 545
    Boro 545
15. METALES, METALURGIA 546
16. METALES ALCALINOS 548
    Sodio 548
    Potasio 550
    Rubidio 551
    Cesio 552
    Litio 552
    Radical amonio 552
17. METALES ALCALINOTÉRREOS 553
    Magnesio 553
    Calcio 554
    Estroncio 555
    Bario 556
    Radio 556
    Berilio 556
18. METALES TÉRREOS 557
    Aluminio 557
    Tierras raras 558
19. METALES DEL GRUPO IV A 559
    Titanio 559
    Circonio 560
    Hafnio 560
    Torio 560
20. METALES DEL GRUPO V A 560
    Vanadio 560
    Niobio 560
    Tántalo 560
    Protactinio 561
21. METALES DEL GRUPO VI A 561
    Cromo 561
    Molibdeno 561
    Wolframio 562
    Uranio 562
22. METALES DEL GRUPO VII A 562
    Manganeso 562
    Renio 563
    Tecnecio 563
23. METALES DEL GRUPO VIII 563
    Hierro 563

Cobalto ... 564
Níquel ... 564
Platino ... 564
Iridio ... 564
Osmio ... 565
Paladio ... 565
Rodio ... 565
Rutenio ... 565
24. METALES DEL GRUPO I B ... 565
Cobre ... 565
Plata ... 566
Oro ... 566
25. METALES DEL GRUPO II B ... 567
Cinc ... 567
Cadmio ... 567
Mercurio ... 568
26. METALES DEL GRUPO III B ... 568
Galio ... 568
Indio ... 568
Talio ... 568
27. METALES DEL GRUPO IV B ... 569
Germanio ... 569
Estaño ... 569
Plomo ... 569
28/29. METAL DEL GRUPO V B ... 570
Bismuto ... 570
METAL DEL GRUPO VIB ... 570
Polonio ... 570

Química Orgánica ... **571**
30. GENERALIDADES ... 571
31. COMPUESTOS ALIFÁTICOS. HIDROCARBUROS SATURADOS ... 573
32. HIDROCARBUROS NO SATURADOS ... 574
33. DERIVADOS DE LOS HALOGENADOS DE LOS HIDROCARBUROS ... 577
34. ALCOHOLES ... 579
35. ÉTERES ... 581
36. ALDEHÍDOS Y CETONAS ... 582
37. ÁCIDOS ORGÁNICOS ... 584
38. DERIVADOS DE LOS ÁCIDOS ... 586
39. COMPUESTOS NITROGENADOS ... 588
40. HIDRATOS DE CARBONO ... 590
41. DERIVADOS ORGANOMETÁLICOS. REACTIVOS DE GRIGNARD ... 592
42. COMPUESTOS ALICÍCLICOS ... 593
43. COMPUESTOS AROMÁTICOS ... 595
44. HIDROCARBUROS BENCÉNICOS ... 596
45. FUNCIONES DEL NÚCLEO BENCÉNICO ... 598
46. FUNCIONES DE LAS CADENAS LATERALES ... 601
47. NÚCLEOS COMPLEJOS ... 603
48/49. COMPUESTOS HETEROCÍCLICOS. ... 606
VITAMINAS, HORMONAS Y ANTIBIÓTICOS ... 609

CIENCIAS NATURALES

Geología ... **610**
CRISTALOGRAFÍA ... 613
MINERALOGÍA ... 615
GEODINÁMICA ... 621
GEOLOGÍA HISTÓRICA ... 624

Biología ... **630**
NIVEL MOLECULAR ... 632
BIOQUÍMICA ... 632
NIVEL UNICELULAR ... 636
CITOLOGÍA ... 636
NIVEL ORGÁNICO O PLURICELULAR ... 641
HISTOLOGÍA ... 641
HERENCIA Y GENÉTICA ... 642
REPRODUCCIÓN ... 647
NIVEL DE EVOLUCIÓN ... 649

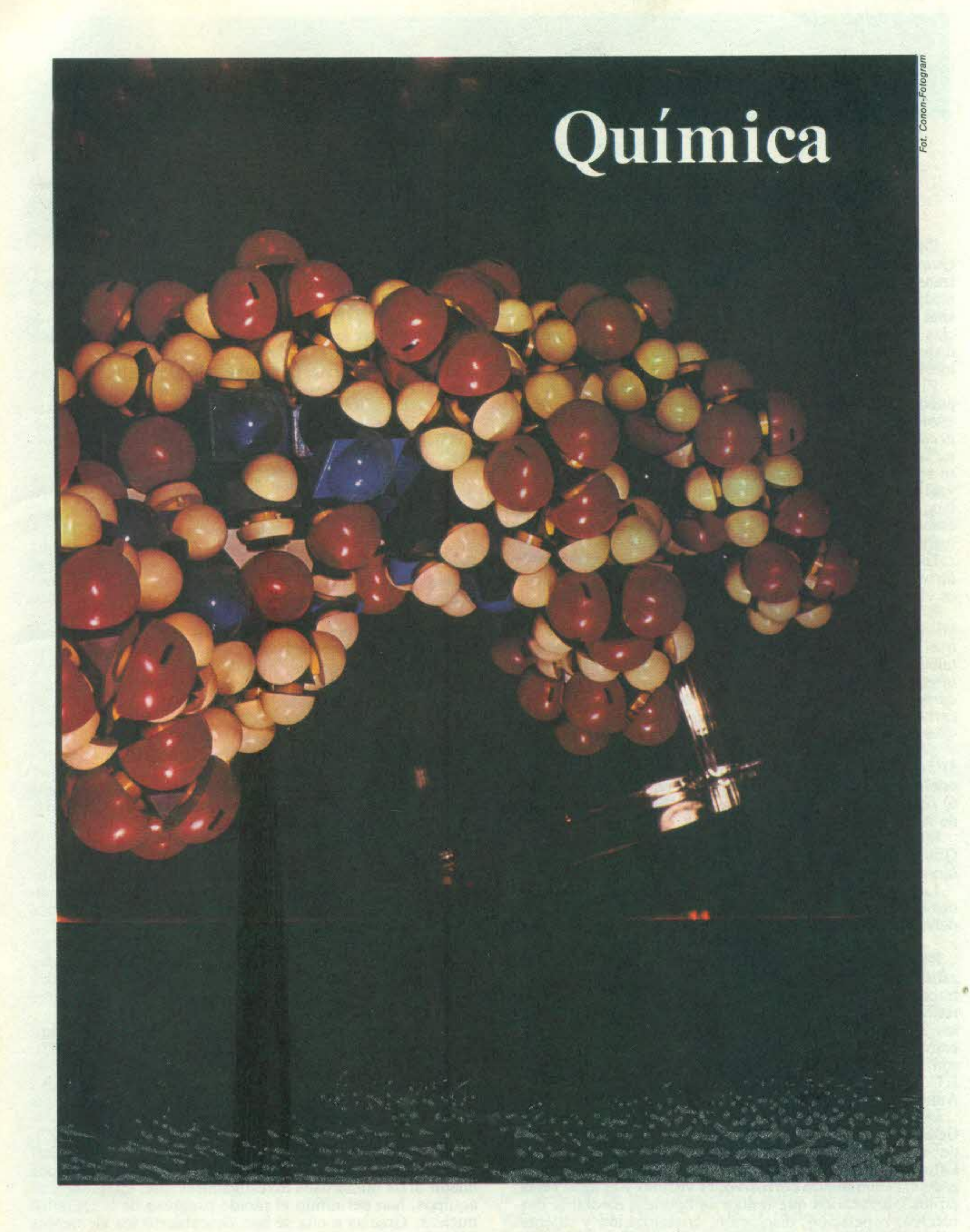
Zoología ... **652**
ZOOLOGÍA GENERAL ... 652
EMBRIOLOGÍA U ORGANOGÉNESIS ... 652
HISTOLOGÍA ... 654
FISIOLOGÍA ... 658
Fisiología de la nutrición ... 658
Fisiología del movimiento ... 668
Biogénesis ... 672
Correlación neuroendocrina y sensibilidad ... 675
Fisiología de los sistemas excretores ... 680
Homeostasis ... 681
MORFOLOGÍA ... 681
HERENCIA ... 683
Variabilidad ... 683
ZOOLOGÍA DESCRIPTIVA ... 684
CLASIFICACIÓN SISTEMÁTICA ... 684
INVERTEBRADOS ... 686
Protozoos ... 686
Metazoos ... 688
Artrópodos ... 696
CORDADOS ... 706
Peces ... 709
Anfibios ... 712
Reptiles ... 715
Aves ... 718
Mamíferos ... 722

Antropología ... **729**

Botánica ... **733**
BOTÁNICA GENERAL ... 733
CITOLOGÍA, HISTOLOGÍA Y MORFOLOGÍA VEGETALES ... 733
Citología ... 733
Histología ... 734
Morfología ... 735
ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA VEGETALES ... 736
Anatomía ... 736
Fisiología ... 738
Reproducción ... 740
BOTÁNICA DESCRIPTIVA ... 744
CRIPTÓGAMAS ... 745
FANERÓGAMAS ... 750

Ecología ... **755**
Biogeografía ... 756
Individuos y comunidades ... 765
Ecosistemas ... 768
Hombre y ambiente ... 770

Índice alfabético ... i



Fot. Conon-Fotogram

Química

Generalidades

Concepto, objetivo y división de la Química. — La *Química* es la ciencia que trata de la constitución y transformación de la materia. No sólo estudia las sustancias que componen los seres vivos e inanimados, sino que se dedica también al descubrimiento de sustancias inexistentes en la Naturaleza. Éstas, por sus propiedades y aplicaciones, son en muchos casos de valor incalculable.

El primer objeto de la Química es averiguar cómo pueden identificarse o distinguirse los materiales. Para ello no se interesa únicamente por las *propiedades accidentales,* como el tamaño y la forma, sino también en las *propiedades específicas* de la clase de materia que se encuentra en cualquier cuerpo. Así, por ejemplo, una vasija de plata y un electrodo de este metal difieren de tamaño, forma y utilidad, pero químicamente son en esencia idénticos ya que están hechos con el mismo material.

El estudio de las transformaciones de unos cuerpos en otros, conocidas con el nombre de reacciones químicas, es el segundo objeto de la Química.

Generalmente, se distinguen en Química las seis subdivisiones siguientes : 1) *general,* que determina las leyes que rigen la interdependencia de los fenómenos químicos; 2) *inorgánica,* que trata de los cuerpos cuyo origen es independiente de la vida; 3) *orgánica* o *del carbono,* que comprende todas las combinaciones del carbono producidas por los seres vivos o por síntesis; 4) *analítica,* que estudia los métodos de reconocimiento y determinación de la composición de las sustancias; 5) *biológica* o *Bioquímica,* prolongación de la química orgánica, que analiza las reacciones en los tejidos vivos; 6) *física,* que introduce las medidas físicas en el estudio de las reacciones químicas.

Pueden considerarse como ramas especializadas de la Química, la *Termoquímica*, la *Electroquímica*, la *Metalurgia*, etc.

La existencia de campos que no pueden integrarse claramente en la Química o en la Física dificulta la delimitación precisa entre estas dos ciencias.

Reseña histórica. — La Química ha sido objeto de estudio desde la más remota antigüedad. Los chinos trabajaron los metales, conocieron la pólvora y elaboraron una cerámica de colores. Los egipcios purificaron los metales nobles y recurrieron a esta ciencia para embalsamar los cadáveres. Griegos y romanos explotaron minas de oro, hierro y cobre. En el siglo V a. de J.C., los filósofos griegos LEUCIPO y DEMÓCRITO DE ABDERA establecieron las bases de la atomística.

Los árabes, durante la Edad Media, transmitieron a Occidente el legado cultural helénico y los cultivadores de esta ciencia recibieron el nombre de *alquimistas.* Éstos conocían ya la volatilidad del azufre, las amalgamas, el sublimado corrosivo, el vitriolo y el agua regia; en los laboratorios que tenían se operaba mediante destilación, copelación, disolución, cristalización y calentamiento. Uno de los objetivos que pretendieron alcanzar los alquimistas medievales fue el de encontrar la llamada *piedra filosofal,* capaz de transformar en oro cualquier otro metal, y se esforzaron también en descubrir el *elixir de la vida* para intentar prolongar la existencia humana por tiempo indefinido.

Los alquimistas occidentales, poco antes del Renacimiento, habían conseguido aislar el bismuto y obtener conocimientos bastante completos acerca del antimonio, arsénico, ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, espíritu de vino, etc. Entre los sabios más destacados se pueden citar a AVICENA (980-1037), AVERROES (1126-1198), ARNAU DE VILANOVA (¿1235?-1313), Roger BACON (¿1214?-1294), San ALBERTO MAGNO (¿1200?-1280) y Raimundo LULIO (1235-1315). Los más brillantes químicos del siglo XVI fueron PARACELSO (1493-1541), Georg AGRICOLA (1494-1555) y el ceramista francés Bernard PALISSY (¿1510?-1589 ó 1590).

Un nuevo concepto de la Química se desarrolló a partir del siglo XVII. Se desecharon los métodos antiguos y se adoptaron otros que dieron gran impulso a esta ciencia. Jean-Baptiste **Van Helmont** (1577-1644) descubrió la existencia de gases distintos de los del aire; Robert **Boyle** (1627-1691) estudió la presión de los gases, aisló el hidrógeno e investigó sobre los ácidos, las soluciones salinas, la acetona y el sulfato de mercurio. Junto a éstos hay que citar a los alemanes Johannes Rudolf GLAUBER (1604-1668), Hennig BRANDT, m. en 1692, Georg **Brandt** (1694-1768), descubridor del cobalto, y Andreas **Marggraf** (1709-1782), descubridor de la alúmina, la magnesia y el manganeso y autor de un procedimiento para extraer el azúcar de la remolacha; y al sueco Axel Fredrik, barón de **Cronstedt** (1722-1765), quien halló el níquel y clasificó los minerales. El español Fausto de **Elhúyar** (1757-1833) figura también entre los científicos distinguidos de esta época, gracias a haber sabido aislar el wolframio. Por último, los británicos Joseph **Black** (1728-1799), Henry **Cavendish** (1731-1810) y Joseph **Priestley** (1733-1804) hicieron importantes estudios.

Descubrimiento de nuevos elementos. — Los notables trabajos del francés Antoine Laurent de **Lavoisier** (1743-1794) dieron un nuevo rumbo a la Química moderna, en la que brillaron Humphry **Davy** (1778-1829), John **Dalton** (1766-1844), Joseph Louis **Proust** (1754-1826), Louis Joseph **Gay-Lussac** (1778-1850), **Avogadro** (1776-1856) y Jacob **Berzelius** (1779-1848). En esa época se establecieron las grandes leyes numéricas en las que se apoya la Química.

La clasificación periódica de los elementos fue fruto de los trabajos del ruso Dimitri **Mendeleiev** (1834-1907). A partir de entonces, y gracias también al análisis espectral, se descubrieron numerosos elementos nuevos : rubidio, cesio, talio, indio, galio, bromo, flúor, gases raros, etc.

A los nombres de Marcelin **Berthelot** (1827-1907), François **Raoul** (1830-1901), Jacobus Henricus **Van't Hoff** (1852-1911) y Svante **Arrhenius** (1859-1927) hay que añadir el de numerosos investigadores que, integrados en equipos, han permitido el rápido progreso de la Química nuclear. Gracias a ella se han descubierto los elementos llamados *transuránicos.*

Química general

1. — Conceptos fundamentales

Propiedades físicas y químicas. Especie química. Mezclas y cuerpos puros. *Caracteres de las mezclas. Caracteres de los cuerpos puros.* Cuerpos compuestos y cuerpos simples. Análisis y síntesis.

Propiedades físicas y químicas. — Las cualidades de la materia que afectan directa o indirectamente a nuestros sentidos se llaman *propiedades físicas*. Éstas pueden ser *específicas*, como el olor, color, sabor, dureza, brillo, etc, o *extensivas*, según la cantidad de materia, como el peso, volumen, etc.

Las *propiedades químicas* de los cuerpos se ponen de manifiesto cuando éstos se transforman en otros completamente distintos.

Especie química. — Las especies o individuos químicos son sustancias cuya composición no sufre alteración por medio de los cambios de estado. El agua, por ejemplo, puede solidificarse o evaporarse, pero conservará siempre la misma composición química. Diremos, por lo tanto, que *el agua es una sustancia homogénea* y *una especie química*.

Mezclas y cuerpos puros. — Si destilamos agua del mar en un alambique, como se puede observar más abajo en la figura 1, el agua recogida en el condensador no tiene ya sabor salado, pero si la aislamos después de esta operación y la sometemos a nuevos tratamientos análogos a los precedentes, se comprobará que no se obtiene una sustancia diferente del líquido inicial.

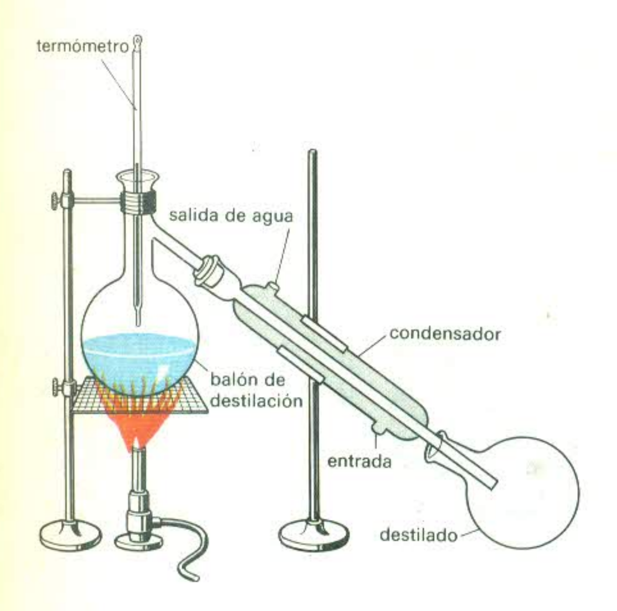


Fig. 1

Se dice que el agua del mar constituye una mezcla y que el líquido procedente de su destilación parcial es un *cuerpo puro* o una especie química definida.

Caracteres de las mezclas. — Una mezcla se define por los caracteres siguientes :

1.° Es posible separarla en fracciones de propiedades distintas; el agua destilada es diferente del residuo que se encuentra en el alambique al final de la operación.

2.° Las propiedades principales de los diversos componentes se conservan, pero las de la mezcla son intermedias; el agua del mar es líquida como el agua pura, aunque más densa y con sabor a sal.

3.° Cuando se unen de nuevo las fracciones separadas se reconstituye la mezcla inicial y así el agua destilada disuelve otra vez el residuo salino y regenera el agua del mar.

Caracteres de los cuerpos puros. — Los cuerpos puros tratados por métodos de separación, como la destilación, son incapaces de producir fracciones diferentes entre sí y diferentes del cuerpo primitivo. Mantienen constantes las propiedades físicas y hierven o se funden a temperaturas fijas y determinadas.

Cuerpos compuestos y cuerpos simples. — La especie química *agua* se puede descomponer por efecto de la corriente eléctrica en dos gases, *hidrógeno* y *oxígeno*, de propiedades diferentes. Se dice que el agua es un *cuerpo compuesto*.

Las sustancias que, como el oxígeno o el hidrógeno, no pueden descomponerse en otros cuerpos más sencillos se denominan *cuerpo simples* o *elementos* y son constituyentes elementales de la materia.

Análisis y síntesis. — Los cuerpos compuestos, mediante el *análisis*, se pueden descomponer por transformaciones o reacciones químicas. El análisis es el proceso por el que se determinan e identifican los elementos o, también, las sustancias más complejas que forman un compuesto.

En algunos casos es suficiente calentar el cuerpo compuesto para analizar los constituyentes del mismo, como en el caso del óxido de mercurio, o descomponerlo por la acción de la corriente eléctrica *(electrólisis)*, como ocurre con el agua, el cloruro de sodio fundido, etc.

Si, al analizar un compuesto, se buscan sólo los constituyentes que lo forman, se ha efectuado un análisis *cualitativo*. Pero éste será *cuantitativo* si se determinan además las proporciones que tienen los constituyentes en el compuesto.

El proceso inverso al análisis es la *síntesis*, es decir, la obtención de un compuesto a partir de las sustancias que lo forman. De este modo se obtiene, por ejemplo, el amoniaco a partir del nitrógeno y del hidrógeno. La síntesis tiene gran importancia en el campo industrial.

2. — Leyes de la Química

Transformaciones físicas y químicas. Leyes. *De Lavoisier. De Proust. De Dalton, De Richter. De Gay-Lussac.* Átomos y moléculas. *Principio de Avogadro.*

Transformaciones físicas y químicas. — Los cambios que experimentan las sustancias pueden ser físicos o químicos. Los primeros modifican algunas propiedades de la sustancia, sin formar otra nueva, y los segundos, llamados *reacciones*, alteran profundamente las propiedades del cuerpo y crean una nueva sustancia.

Los cambios químicos modifican las propiedades del cuerpo, mientras que los físicos sólo producen una pequeña y parcial alteración de éstos. Los primeros tienen casi siempre carácter permanente y los segundos sólo persisten mientras actúa la causa que los origina. Ambos suelen ir acompañados de una variación de energía que es relativamente pequeña en los físicos.

Leyes. — *De Lavoisier.* — Según la ley enunciada por Lavoisier, *en toda transformación química la masa total de los cuerpos resultantes es igual a la masa total de los cuerpos reaccionantes.*

La relación entre la masa y la energía de un sistema da lugar a que la ley de la conservación de la materia y la ley de la conservación de la energía no sean independientes una de otra, sino que deban reunirse en una ley única de la conservación de la masa-energía.

La ley de Lavoisier debe considerarse, por consiguiente, como una *ley absoluta* para todas las transformaciones y *rigurosamente exacta* cuando se asocia con la ley de la conservación de la energía.

De Proust. — La ley de Proust precisa que *cuando dos o más elementos se combinan para formar un determinado compuesto, la razón de sus pesos es constante, aunque varíen, entre ciertos límites, la temperatura y la presión; la composición de un compuesto es, por lo tanto, constante.*

Así se comprueba que, cuando se quema carbono en una atmósfera de oxígeno para formar anhídrido carbónico, 3 g de carbono se unen siempre a 8 g de oxígeno. Si hubiese un exceso de oxígeno, la fracción que no se hubiera combinado con el carbono se encontraría inalterada al final de la reacción.

De Dalton. — Esta ley, llamada también de las *proporciones múltiples*, dice que, *cuando dos elementos se combinan para formar más de un compuesto, las masas de uno, si permanece constante la del otro, varían según una relación sencilla y son múltiplos de una cantidad más pequeña.* Al comparar las composiciones de las dos uniones de *carbono* y *oxígeno*, se observa que el anhídrido carbónico contiene 2,66 g de oxígeno por 1 g de carbono y el óxido de carbono 1,33 g de oxígeno por 1 g de carbono. Las masas 2,66 y 1,33 están en la proporción de 2 a 1.

De Richter. — La ley de Richter, denominada también *ley de las proporciones recíprocas*, afirma que *los pesos de elementos diferentes que se combinan con un mismo peso de un elemento dado son los pesos relativos de aquellos elementos, cuando se combinan entre sí, o bien múltiplos o submúltiplos de estos pesos.* Así, por ejemplo, con 1 g de oxígeno se unen 0,1260 g de hidrógeno para formar agua; 4,4321 g de cloro para formar anhídrido hipocloroso; 0,3753 g de carbono para formar gas carbónico; 1,0021 g de azufre para formar gas sulfuroso; y 2,5050 g de calcio para formar óxido cálcico. Pero los elementos hidrógeno, cloro, carbono, azufre y calcio pueden a su vez combinarse mutuamente y se comprueba, en este caso, que estas cantidades, multiplicadas por números enteros sencillos, son las que se unen entre sí para formar los correspondientes compuestos.

De Gay-Lussac. — Las leyes de Gay-Lussac son volumétricas, es decir, tienen en cuenta los volúmenes de los cuerpos considerados en estado gaseoso. Una de ellas precisa que, *cuando dos cuerpos gaseosos reaccionan entre sí, lo hacen según una relación de volumen sencilla*, y la otra sostiene que *existe una relación sencilla entre los volúmenes gaseosos de los cuerpos que desaparecen durante la reacción.*

Los ejemplos siguientes se deducen de las leyes de Gay-Lussac : *a*) 1 litro de *nitrógeno* reacciona con 3 litros de *hidrógeno* para dar 2 litros de *gas amoniaco*; *b*) 2 litros de *hidrógeno* se unen con 1 litro de *oxígeno* y dan 2 litros de *vapor de agua.*

Gay-Lussac observó que el volumen de la combinación gaseosa resultante es inferior o, a lo más igual, a la suma de los volúmenes de las sustancias gaseosas que se combinan.

Átomos y moléculas. — *Principio de Avogadro.* — El *átomo* de un elemento es la cantidad más pequeña de este cuerpo que puede contribuir a la formación de una molécula, y las *moléculas* son las partículas físicamente separadas que integran los gases.

Avogadro supuso que, *en las mismas condiciones de presión y temperatura, dos volúmenes iguales de gases distintos contienen el mismo número de moléculas.*

Aunque los gases encerrados en los recipientes de la figura 2 son distintos, ambos contienen el mismo número de moléculas, representadas por pequeños círculos, ya que su volumen, presión y temperatura son iguales.

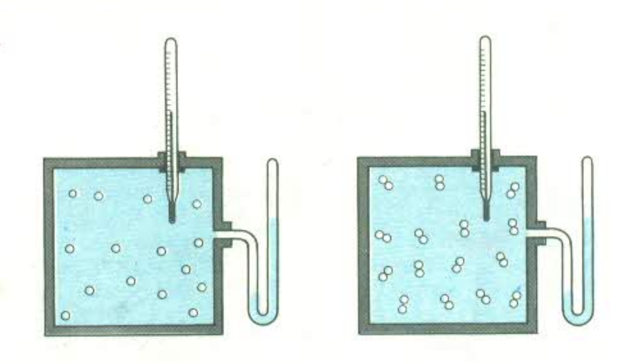


Fig. 2

3. — Masas atómicas y moleculares

Masas atómicas. Átomo-gramo. *Número de Avogadro.* Determinación de las masas atómicas. Masas moleculares. Molécula-gramo. Pesos moleculares de gases. *Determinación a partir de densidades gaseosas.* Crioscopia y ebulloscopia. *Ley de Raoult.*

Masas atómicas. — Las masas reales de los átomos individuales son muy pequeñas. Así, la masa de un átomo de oxígeno 16 equivale a $2{,}65 \cdot 10^{-26}$ kg, mientras que la de uno de hidrógeno es $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg. Estos números no sirven para cálculos químicos y se sustituyen por los que indican las *masas relativas* de los átomos.

Tabla de las masas atómicas (Unión Internacional de Química, 1953)

ELEMENTO	SÍMBOLO	NÚMERO ATÓMICO	MASA ATÓMICA	ELEMENTO	SÍMBOLO	NÚMERO ATÓMICO	MASA ATÓMICA
Actinio	Ac	89	227	Itrio	Y	39	88,92
Aluminio	Al	13	26,98	Lantano	La	57	138,92
Americio	Am	95	(243)*	Litio	Li	3	6,940
Antimonio	Sb	51	121,76	Lutecio o Casiopeo	Lu	71	174,99
Argón	A	18	39,944	Magnesio	Mg	12	24,32
Arsénico	As	33	74,91	Manganeso	Mn	25	54,94
Astato	At	85	(210)	Mendelevio	Mv	101	256
Azufre	S	16	32,066**	Mercurio	Hg	80	200,61
Bario	Ba	56	137,36	Molibdeno	Mo	42	95,95
Berilio o Glucinio	Be	4	9,013	Neodimio	Nd	60	144,27
Berkelio	Bk	97	(245)	Neón	Ne	10	20,183
Bismuto	Bi	83	209	Neptunio	Np	93	(237)
Boro	B	5	10,82	Niobio o Columbio	Nb	41	92,91
Bromo	Br	35	79,919	Níquel	Ni	28	58,69
Cadmio	Cd	48	112,41	Nitrógeno	N	7	14,008
Calcio	Ca	20	40,08	Nobelio	No	102	253
Californio	Cf	98	(246)	Oro	Au	79	197,2
Carbono	C	6	12,011	Osmio	Os	76	190,2
Cerio	Ce	58	140,13	Oxígeno	O	8	16,0000
Cesio	Cs	55	132,91	Paladio	Pd	46	106,7
Cinc	Zn	30	65,38	Plata	Ag	47	107,880
Circonio	Zr	40	91,22	Platino	Pt	78	195,23
Cloro	Cl	17	35,457	Plomo	Pb	82	207,21
Cobalto	Co	27	58,94	Plutonio	Pu	94	(242)
Cobre	Cu	29	63,54	Polonio	Po	84	210
Criptón	Kr	36	83,80	Potasio	K	19	39,100
Cromo	Cr	24	52,01	Praseodimio	Pr	59	140,92
Curio	Cm	96	(243)	Protactinio	Pa	91	231
Disprosio	Dy	66	162,46	Radio	Ra	88	226,05
Einstenio	E	99	253	Radón	Rn	86	222
Erbio	Er	68	167,2	Renio	Re	75	186,31
Escandio	Sc	21	44,96	Rodio	Rh	45	102,91
Estaño	Sn	50	118,70	Rubidio	Rb	37	85,48
Estroncio	Sr	38	87,63	Rutenio	Ru	44	101,1
Europio	Eu	63	152,0	Samario	Sm	62	150,43
Fermio	Fm	100	255	Selenio	Se	34	78,96
Flúor	F	9	19,00	Silicio	Si	14	28,09
Fósforo	P	15	30,975	Sodio	Na	11	22,991
Francio	Fr	87	(223)	Talio	Tl	81	204,39
Gadolinio	Gd	64	156,9	Tántalo	Ta	73	180,95
Galio	Ga	31	69,72	Tecnecio	Tc	43	(99)
Germanio	Ge	32	72,60	Telurio	Te	52	127,61
Hafnio	Hf	72	178,6	Terbio	Tb	65	158,93
Helio	He	2	4,003	Titanio	Ti	22	47,90
Hidrógeno	H	1	1,008	Torio	Th	90	232,05
Hierro	Fe	26	55,85	Tulio	Tm	69	168,94
Holmio	Ho	67	164,94	Uranio	U	92	238,07
Ilinio o Promecio	Il	61	(145)	Vanadio	V	23	50,95
Indio	In	49	114,76	Wolframio o Tungsteno	W	74	183,92
Iridio	Ir	77	192,2	Xenón	Xe	54	131,3
Iterbio	Yb	70	173,04	Yodo	I	53	126,91

* El valor de la masa del isótopo más estable está entre paréntesis. ** La masa atómica del azufre, a causa de las variaciones de la abundancia relativa de los isótopos, se indica con una aproximación de ±0,003.

Para establecer un sistema de masas relativas de los átomos, se asigna a un átomo una masa arbitraria. Las masas de los demás átomos se expresan entonces con relación a dicha masa. En el sistema de masas relativas, elaborado por la organización mundial de físicos y químicos, se escogió la del átomo de carbono 12, cuya masa relativa exacta es 12, y se propuso que *la unidad de masa atómica (u. m. a.) fuese la doceava parte del átomo de carbono 12, cuya masa relativa es 12.* Así *la masa atómica de un átomo expresa cuántas veces la masa de dicho átomo contiene la doceava parte del átomo de carbono 12.* De este modo la masa atómica del hidrógeno es 1,007 825 y la del oxígeno 16 es 15,994 91.

El *número de masa,* que indica el número total de protones y neutrones en el núcleo de un átomo, puede definirse como el número entero más próximo a la masa atómica.

Átomo-gramo. — *Número de Avogadro.* — El *átomo-gramo* de un elemento es el número de gramos de dicho elemento, que es igual a su masa atómica relativa. Así, el átomo-gramo del hidrógeno es 1,008 g, el del oxígeno 16 g, el del cloro 35,45 g.

Se llama *número de Avogadro* al número de moléculas contenidas en una molécula-gramo. El valor aceptado de éste, determinado por el método de la difracción de los rayos X, es $6{,}0235 \cdot 10^{23}$. El conocimiento de dicho número permite calcular el peso en gramos de una molécula de gas, que es igual al peso de una molécula-gramo dividido por el número de Avogadro.

Determinación de las masas atómicas. — El descubrimiento del isomorfismo condujo a establecer que los compuestos isomorfos tienen una composición química análoga. Este enunciado se conoce como *ley de Mitscherlich* y se utiliza para la determinación de masas atómicas. El siguiente ejemplo muestra la forma de aplicación de esta ley.

El arseniato sódico es isomorfo del fosfato sódico (PO_4HNa_2) y le corresponderá, por tanto, la fórmula AsO_4HNa_2, lo que permite determinar el valor As = 75 de la masa atómica del arsénico.

También Dulong y Petit observaron que multiplicando la masa atómica correspondiente por el calor específico de numerosos cuerpos simples, considerados en estado sólido, se obtenía un número de calorías igual a 6,3.

Esta observación, considerada como ley general aproximada, ha permitido resolver a veces la indeterminación que pesa sobre la elección de las masas atómicas.

De este modo entre los valores 31,5 y 63 aceptables para la masa atómica del cobre, se escogerá el valor 63, que, multiplicado por el calor específico 0,095 del metal en estado sólido, da el producto 6,1, próximo a 6,3.

Sin embargo, el *análisis* y la *síntesis* químicos constituyen los métodos más precisos para la determinación de las masas atómicas.

Sin entrar en los detalles de los experimentos realizados para conseguir estas determinaciones, nos limitaremos a indicar que el *agua* ha servido de base para establecer la masa atómica del *oxígeno,* y el *óxido nítrico* (NO) para fijar la del *nitrógeno.*

La determinación cada vez más precisa de las masas atómicas sigue siendo objeto de numerosos trabajos de laboratorio.

Masas moleculares. — Se llama *masa molecular* de un cuerpo el número obtenido sumando las masas atómicas de los elementos que aquél encierra, además de multiplicar cada uno de éstos por el coeficiente que figure en la fórmula. Así, la masa molecular del agua (H_2O) es igual a

$$1 \times 2 + 16 = 18$$

Molécula-gramo. — La *molécula-gramo* o *mol* de una especie química es el número de gramos igual a su masa molecular.

Ejemplo 1.° Agua (H_2O)

$$2H = 2 \times 1{,}008 = 2{,}016$$
$$1O = 1 \times 16 = 16$$

Masa molecular = 18,016

Ejemplo 2.° Dióxido de carbono (CO_2)

$$1C = 1 \times 12 = 12$$
$$2O = 2 \times 16 = 32$$

Masa molecular = 44

Así 18,016 g y 44 g son, respectivamente, los moles de agua y de dióxido de carbono.

Pesos moleculares de gases. — *Determinación a partir de densidades gaseosas.* — El principio de Avogadro, mencionado anteriormente, permite conocer el peso molecular relativo de las moléculas de un gas, ya que la relación en peso de dos de dichos volúmenes, o sea la densidad relativa de un gas respecto a otro, ha de ser igual a la relación entre el peso de sus moléculas. Esto es :

$$\frac{\text{Peso de un volumen cualquiera del gas A}}{\text{Peso de un volumen (mismas condiciones) gas B}}$$

$$\text{igual a} \quad \frac{\text{Peso 1 molécula gas A} \times n \text{ moléculas}}{\text{Peso 1 molécula gas B} \times n \text{ moléculas}}$$

Como la primera relación es la densidad relativa del gas A respecto del B, expresada por $D_A(B)$, resulta

$$D_{A(B)} = \frac{\text{Peso molecular del gas A}}{\text{Peso molecular del gas B}}, \text{ o sea,}$$

Peso molecular de A = Peso molecular de B $\cdot D_{A(B)}$ **[1]**
Si se conociera el peso de una molécula de un gas cualquiera, podría hallarse el peso molecular de cualquier otro gas con sólo determinar la densidad relativa de éste respecto al primero. Se establecen, ya que no es posible conocer directamente el peso de una molécula de un gas, pesos moleculares relativos con referencia a un valor arbitrariamente definido para la molécula de un determinado gas. Puesto que el hidrógeno es el gas más ligero que se conoce, su molécula podría tomarse como unidad; pero, al estar aquélla formada por dos átomos, o partículas materiales muy ligeras, si se considera su peso como unidad, la molécula del hidrógeno tendrá un peso molecular relativo de 2. El peso molecular del oxígeno es 32. Como la molécula de oxígeno también está formada por dos átomos, el peso atómico del oxígeno es 16. *La unidad de pesos atómicos, moleculares y equivalentes es la dieciseisava parte de la masa atómica del oxígeno.*

Generalmente, las densidades de los gases se miden con respecto al aire. El valor d_{aire} así hallado, multiplicado por la inversa $\frac{1}{0{,}0694} = 14{,}4$ de la densidad del hidrógeno con respecto al aire, da la densidad del valor en relación con el hidrógeno, es decir, la masa molecular de la sustancia.

$$P = 2 \cdot 14{,}4 \cdot d_{aire}$$

$$P = 28{,}8 \cdot d_{aire}$$

El peso molecular de un cuerpo gaseoso o volátil se obtiene multiplicando la densidad del gas con respecto al aire por 28,8.

Ejemplo : la densidad del metano respecto al hidrógeno es igual a 7,955. Para hallar el peso molecular del metano se aplica la fórmula [1] y tenemos :

Peso molecular del metano = 2,016.

La densidad del metano con respecto al hidrógeno es igual a 2,016 × 7,955, o sea, a 16,04.

La determinación de las densidades de los cuerpos simples gaseosos ha permitido precisar el valor de las masas atómicas correspondientes.

Crioscopia y ebulloscopia. — *Ley de Raoult.* — Las propiedades de las soluciones condujeron al físico Raoult a proponer otros métodos de determinación de las masas moleculares, que llevan los nombres de *crioscopia* y *ebulloscopia.*

En la crioscopia, cuando se enfría la solución de un cuerpo puro diluido en un disolvente adecuado, se comprueba que la congelación comienza a efectuarse a una temperatura inferior al punto de congelación del disolvente puro.

La ley de Raoult afirma que, *en todas las soluciones diluidas, la disminución Δt del punto de congelación es proporcional al número de moléculas reales del cuerpo disueltas en 100 g de disolución.*

Naturalmente, esta cantidad es proporcional a la masa C del cuerpo disuelto e inversamente proporcional a su masa molecular M. Se obtiene así la igualdad :

$$\Delta t = K \frac{C}{100\ M}$$

El factor K, llamado *constante crioscópica,* depende exclusivamente de la naturaleza del disolvente.

Los disolventes empleados con mayor frecuencia para efectuar las crioscopias son agua, ácido acético, benceno, fenol, etc.

En la ebulloscopia, cuando se hace hervir la solución diluida de un cuerpo puro en un disolvente, se observa que la temperatura en que comienza la ebullición es superior a la del disolvente puro.

La elevación Δt del punto de ebullición obedece puntualmente a una ley :

$$\Delta t = K' \frac{C}{100\ M}$$

análoga a la ley de crioscopia.

El factor K', llamado *constante ebulloscópica,* depende de la naturaleza del disolvente empleado.

El método ebulloscópico, menos preciso que el crioscópico, es de uso más reducido.

4. — Clasificación periódica de los elementos

Diversas clasificaciones. Sistema periódico de los elementos. Ley de Moseley. Gases nobles. Concepto de valencia. Interpretación de la clasificación. Elementos de transición.

Diversas clasificaciones. — A medida que se fueron descubriendo los elementos químicos, se observaron propiedades semejantes entre algunos de ellos, por lo que se les clasificó en dos grandes grupos : *metales* y *no metales* o *metaloides.*

Un primer intento de clasificación fue realizado en 1829 por el alemán Johann Wolfgang DÖBEREINER (1780-1849), quien agrupó por *tríadas* los elementos de propiedades muy parecidas (cloro, bromo, yodo; azufre, selenio, teluro; calcio, estroncio, bario).

Más tarde, el británico John Alexander Reina NEWLANDS (1838-1898) descubrió la llamada *ley de las octavas,* al observar que, ordenando los elementos según el orden creciente de los pesos atómicos, cada siete elementos consecutivos tenían propiedades diferentes y que las del octavo coincidían con las del primero del grupo anterior.

En estas clasificaciones se basó la que llevaron a cabo en 1869 el ruso Dimitri Ivanovitch **Mendeleiev** (1834-1907) y el alemán Lothar MEYER (1830-1895), independientemente uno de otro. Ambos establecieron la clasificación periódica de los elementos (véase capítulo 37 de FÍSICA), considerando que *las propiedades físicas y químicas de los elementos eran función periódica de su peso atómico* (ley de Mendeleiev).

Sistema periódico de los elementos. — El sistema periódico de los elementos o mejor dicho el *sistema de períodos de los elementos* de Mendeleiev consiste en la ordenación de éstos en varias filas horizontales y columnas verticales según el orden creciente de sus masas atómicas. Esta clasificación permitió que su autor concibiera la existencia en la Naturaleza de algunos elementos hasta entonces desconocidos, así como sus principales propiedades químicas y físicas.

Esta tabla se modificó para integrar los elementos que se descubrieron después de la muerte del físico ruso y se sustituyeron las masas atómicas por el número atómico con objeto de evitar algunas inversiones debidas a la existencia de isótopos en ciertos casos.

La clasificación periódica, cuyo cuadro figura en la página siguiente, consta actualmente de 103 elementos, el primero de los cuales es el hidrógeno; los que llevan los números entre el 93 (neptunio) y el 103 inclusive (lawrencio o laurencio) son artificiales y reciben el nombre de *transuránicos.*

Se llama *períodos* a las series de elementos comprendidos entre dos gases nobles sucesivos cuando se recorre la tabla de izquierda a derecha.

Todos los elementos situados en una columna constituyen un grupo o familia y poseen propiedades análogas, como la de tener la misma valencia.

Ley de Moseley. — El número atómico representa el número de cargas positivas o protones del núcleo y es exactamente igual al número de cargas negativas o electrones de la corteza, porque el átomo es eléctricamente neutro.

Los espectros de emisión de rayos X de los elementos presentan unas rayas cuyas longitudes de onda varían regularmente, lo que permite atribuir a los elementos los números atómicos correspondientes.

La raíz cuadrada de la frecuencia de una discontinuidad es proporcional al número atómico. Esta ley, enunciada por el físico inglés Henry Gwyn-Jeffreys MOSELEY (1887-1915), muestra que el número atómico debe responder a la constitución íntima del átomo y no ser tan sólo un lugar de colocación del elemento en una tabla de clasificación de los mismos.

CLASIFICACIÓN PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS

I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	O
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1 H*															2 He
3 Li		4 Be		5 B		6 C		7 N		8 O		9 F			10 Ne
11 Na		12 Mg		13 Al		14 Si		15 P		16 S		17 Cl			18 A
19 K		20 Ca		21 Sc		22 Ti		23 V		24 Cr		25 Mn		26 27 28 Fe Co Ni	
	29 Cu		30 Zn		31 Ga		32 Ge		33 As		34 Se		35 Br		36 Kr
37 Rb		38 Sr		39 Y		40 Zr		41 Nb		42 Mo		43 Tc		44 45 46 Ru Rh Pd	
	47 Ag		48 Cd		49 In		50 Sn		51 Sb		52 Te		53 I		54 Xe
55 Cs		56 Ba		57 a 71 Tierras raras		72 Hf		73 Ta		74 W		75 Re		76 77 78 Os Ir Pt	
	79 Au		80 Hg		81 Tl		82 Pb		83 Bi		84 Po		85 At		86 Rn
87 Fr		88 Ra		89 Ac		90 Th		91 Pa		92 U					

Tierras raras	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Ne	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
transuránicos		93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 E	100 Fm	101 Mv	102 No	103 Lw			

El número indicado arriba en cada casilla es el número atómico

**En realidad, el hidrógeno debería constar aparte*

Gases nobles. — La primera columna de la derecha contiene únicamente los *gases nobles* (helio, neón, argón, criptón, xenón y radón), que presentan una *inercia química absoluta,* no se combinan entre sí y constan de átomos que no se unen unos con otros. La molécula que tienen es monoatómica y la estructura de sus átomos ofrece una estabilidad perfecta.

Concepto de valencia. — La fuerza existente entre dos átomos, cualquiera que sea su naturaleza, constituye *un enlace químico.* La forma más habitual de éste engendra su capacidad de combinación o *valencia,* definida como el número de átomos de hidrógeno que pueden unirse o ser reemplazados por un átomo del elemento correspondiente. El número entero que expresa la valencia de un elemento en un determinado compuesto es el *número de enlaces* o de *valencias* con que actúa su átomo al unirse con los demás. Una interpretación de la naturaleza de la valencia se hizo al determinar la estructura electrónica de los átomos y establecer que la transferencia total o parcial de electrones de unos átomos a otros, para adquirir la configuración electrónica estable correspondiente a los gases nobles, da lugar al enlace químico.

Interpretación de la clasificación. — Con el fin de explicar la periodicidad de las propiedades de los elementos, se admite que los electrones que gravitan alrededor del núcleo atómico están distribuidos en capas o niveles caracterizados por la energía que poseen los electrones en cada uno de ellos (niveles de energía). Así, por ejemplo, el *hidrógeno* presenta un electrón planetario, mientras que el *helio,* gas noble, comprende dos y tiene una capa saturada, el *litio* cuenta con un electrón más que el helio y el *berilio* posee dos electrones más que el helio y cada uno de éstos pertenece a la misma capa. Tras el *boro,* el *carbono,* el *nitrógeno,* el *oxígeno* y el *flúor,* que poseen respectivamente, tres, cuatro, cinco, seis y siete electrones en la capa exterior, se llega a la saturación con el *neón* (elemento n.° 10), gas noble. Se comprueba, por lo tanto, que en una misma columna el número de electrones de la capa periférica de los elementos es el mismo y que estos últimos presentan propiedades análogas.

Elementos de transición. — El *hierro,* el *cobalto* y el *níquel,* alejados a la vez del argón y del criptón, tienen propiedades muy semejantes. Otro tanto se puede decir de las dos tríadas compuestas por el *rutenio,* el *rodio* y el *paladio* o por el *osmio,* el *iridio* y el *platino.* Estos elementos, muy próximos por el número atómico y por las propiedades que tienen, se llaman *elementos de transición.* Un grupo muy especial de estos últimos está constituido por los metales trivalentes llamados *tierras raras,* que se extienden desde el *lantano* (57) hasta el *lutecio* (71).

Estos elementos poseen propiedades tan afines que las combinaciones que forman sólo pueden separarse por cristalización fraccionada. El análisis espectral es el único medio de reconocerlos.

5. — Velocidad de reacción y equilibrios químicos

Reacción química. *Clases de reacciones.* Velocidad de reacción. *Factores influyentes.* Catálisis química. Ley de acción de masas o ley de Guldberg y Waage. Ley del desplazamiento del equilibrio *(Le Chatelier).* Desplazamiento del equilibrio. *Por variación de la temperatura (Van't Hoff). Por variación de la presión. Por variación de la concentración.* Regla de las fases.

Reacción química. — *Clases de reacciones.* — Por *reacción química* se entiende *todo proceso en el que un cuerpo experimenta una alteración en la constitución atómica.* Las reacciones pueden ser *espontáneas* o *provocadas* y se dividen también, por las manifestaciones energéticas que las acompañan, en *exotérmicas* y *endotérmicas.* En las primeras se desprende energía en forma de calor, como es el caso para la combustión del carbón, y en las segundas se absorbe energía, lo que ocurre, por ejemplo, en la formación del ozono.

Atendiendo al resultado de una reacción, ésta puede ser *completa* e *incompleta* o *reversible.* En el primer caso, la reacción, una vez empezada, continúa hasta la desaparición de alguno de los cuerpos reaccionantes, como ocurre en la reacción del cloruro sódico con el nitrato de plata, en la que se forma un precipitado de cloruro de plata; la reacción se efectúa de izquierda a derecha :

$$ClNa + NO_3Ag \rightarrow ClAg + NO_3Na$$

En las reacciones incompletas o reversibles, las concentraciones de las sustancias reaccionantes disminuyen rápidamente al principio y con lentitud después, llegando un momento en que la concentración de todas las sustancias permanece constante y la reacción parece cesar. Se produce un estado de equilibrio llamado *equilibrio químico.* Si se calienta, por ejemplo, cloruro amónico, éste empieza a descomponerse y, en un momento determinado, el ClH y el NH_3, que se han desprendido, tienden a combinarse de nuevo para regenerar el cuerpo primitivo :

$$ClNH_4 \rightleftarrows ClH + NH_3$$

Velocidad de reacción. — *Factores influyentes.* — La velocidad de una reacción es *la cantidad de sustancia que se transforma en la unidad de tiempo por unidad de volumen.*

Influyen en ella la *naturaleza* de las sustancias que reaccionan; la *temperatura,* por lo que, si ésta aumenta aproximadamente 10 grados, se duplica la velocidad de reacción; la *concentración molecular;* y la presencia de *catalizadores.*

Catálisis química. — Los *catalizadores,* cuya acción se denomina *catálisis,* son cuerpos extraños a una reacción cuya presencia modifica la velocidad de la misma. La catálisis puede ser *positiva* o *negativa,* según aumente o disminuya la velocidad de la reacción por la presencia del catalizador. Un ejemplo de la primera es la obtención del anhídrido sulfúrico por el método de contacto a partir del sulfuroso, que se oxida en presencia de amianto platinado y óxido de hierro como catalizadores. En cambio, en el segundo caso, el agua oxigenada se estabiliza evitando la descomposición espontánea gracias a la presencia de los ácidos.

El catalizador se compara con el lubricante de las máquinas. Ambos desempeñan el papel de reducir los rozamientos sin producir trabajo.

Ley de acción de masas o ley de Guldberg y Waage. — Esta ley precisa que *el estado de equilibrio se alcanza en una reacción reversible cuando la velocidad de la reacción inversa llega a ser igual a la de la reacción directa*, o sea, que el equilibrio se mantiene porque la cantidad de los cuerpos que se forman por unidad de tiempo es igual a la de los que se destruyen. En estas condiciones, el equilibrio presenta un carácter *dinámico* y *no estático*. Sea la reacción de equilibrio

$$A + B + C \rightleftarrows P + Q + R...$$

Si se representa la concentración de los diferentes cuerpos por C_A, C_B, etc., la velocidad V de la reacción directa será $V = K\ C_A\ C_B\ C_C...$

La velocidad V' de la reacción inversa la dará la ecuación $V' = K'\ C_P\ C_Q\ C_R...$

Cuando se llegue al equilibrio, las dos velocidades serán iguales y $K\ C_A\ C_B\ C_C... = K'\ C_P\ C_Q\ C_R...$, fórmula que se puede escribir de la manera siguiente :

$$\frac{C_A C_B C_C...}{C_P C_Q C_R...} = \frac{K'}{K} = K_C$$

Cuando el medio es homogéneo, la relación K_C es constante a una temperatura dada.

OBSERVACIÓN. — Para los gases se puede considerar la presión parcial en vez de la concentración. En tal caso, se obtiene la relación

$$\frac{P_A P_B P_C}{P_P P_Q P_R} = K_P$$

Las relaciones anteriores son la expresión matemática de la *ley de acción de masas* que se aplica a los equilibrios químicos.

Ley del desplazamiento del equilibrio *(Le Chatelier)*. — Cuando se modifica uno de los factores del equilibrio, el sistema tiende hacia una nueva posición.

La ley del desplazamiento del equilibrio dice que, *cuando un sistema se halla en equilibrio estable, la modificación de uno cualquiera de los factores del equilibrio provoca un desplazamiento de la posición del sistema, en el sentido que tiende a atenuar el efecto de la causa perturbadora.*

Esta ley caracteriza los equilibrios estables y es de aplicación muy general.

Desplazamiento del equilibrio. — *Por variación de la temperatura (Van't Hoff).* — La elevación de la temperatura desplaza el equilibrio porque corresponde a una absorción de calor y favorece así las reacciones *endotérmicas*. Por el contrario, la disminución de la temperatura desplaza el equilibrio a favor de la reacción *exotérmica*.

Por variación de la presión. — El aumento de la presión favorece la reacción en la que disminuye el volumen. En cambio, la disminución de la presión favorece la reacción que va acompañada por un aumento de volumen.

La obtención del gas amoniaco a partir de sus elementos :

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

se verifica con mayor rendimiento cuanto mayor sea la presión, porque el volumen del amoniaco es menor que el de la mezcla de nitrógeno e hidrógeno.

OBSERVACIÓN. — Cuando una reacción tiene lugar *sin variación de volumen*, como la disociación del cloruro de hidrógeno :

$$H_2 + Cl_2 \rightleftarrows 2ClH$$

el equilibrio es *independiente de la presión.*

Por variación de la concentración. — Si se aumenta la concentración de uno de los cuerpos en equilibrio, éste tiende a desaparecer y ocurre lo contrario en el caso inverso. Este resultado se deduce fácilmente de la ley de acción de masas.

Regla de las fases. — En un sistema heterogéneo, se llama *fase* a toda fracción, cualquiera que sea su estado de división, que constituye una materia homogénea y separable por métodos mecánicos. Así una mezcla de azufre pulverizado y limaduras de hierro comprende las fases del azufre y del hierro.

Se llama *número de componentes* de un sistema al menor número de cuerpos necesarios para reconstruir el sistema. En general, el número de componentes independientes es igual al número total de componentes menos el número de ecuaciones de equilibrio que rigen su interdependencia.

La *variante* o *libertad* de un sistema en equilibrio es el número de factores que se pueden modificar sin que por ello se destruya el equilibrio del sistema.

La *regla de las fases* afirma que *el número de libertades de un sistema en equilibrio, constituido por C componentes independientes y F fases, es dado por la relación* $L = C + 2 - F$.

El término 2 representa los factores de temperatura y presión.

6. — Cambio de energía en las reacciones químicas. Termoquímica

Cambio de energía en las reacciones químicas. Energía interna. *Variaciones.* Principio del estado inicial y el estado final. *Aplicaciones.* Calor de reacción. Poder calorífico de los combustibles. Principio del trabajo máximo.

Cambio de energía en las reacciones químicas. — Las reacciones químicas van generalmente acompañadas de cambios de energía. El *calor* desprendido en algunas de ellas es objeto de varias utilizaciones que tienen gran importancia. Así, la calefacción industrial o doméstica se aprovecha del efecto térmico que resulta de la oxidación del carbono y del hidrógeno.

Energía interna. — Se explica el efecto térmico de la reacción

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

si se parte de la hipótesis de que el sistema formado por dos reactivos, carbono y oxígeno, posee una reserva de energía interna comparable con la energía potencial. La

transformación química da lugar a otro sistema (anhídrido carbónico), que tiene menos energía interna. El desprendimiento de calor queda compensado por esta disminución de energía cuando se pasa del sistema inicial al sistema final.

La energía interna de un sistema depende, por lo tanto, exclusivamente del estado de dicho sistema y no de las transformaciones anteriores.

Variaciones. — La energía interna no se presta a medidas. Es imposible conocer, por ejemplo, el valor U_1 de la energía interna del sistema $C + O_2$ e igual ocurre con el valor U_2 de la energía interna del sistema CO_2 que le corresponde.

Sin embargo, la variación $U_1 - U_2$ de la energía interna, cuando se pasa del primer sistema al segundo, se halla perfectamente definida, ya que representa la energía liberada en la transformación. Como el valor U_1 depende exclusivamente del estado inicial y el valor U_2 del estado final, se llega a la conclusión de que *la energía liberada en una reacción, que equivale a* $U_1 - U_2$, *depende solamente de los estados inicial y final y es independiente de los estados intermedios.*

Así, la combustión directa de un átomo-gramo de carbono

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$

desprende la misma energía que las dos reacciones sucesivas

$$C + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CO \quad \text{y} \quad CO + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CO_2$$

Principio del estado inicial y el estado final. — *Aplicaciones.* — El principio, llamado del *estado inicial y el estado final*, dice que *la cantidad de calor desprendido o absorbido por una reacción efectuada, ya sea a volumen constante, ya sea a presión constante, depende solamente de los estados inicial y final del sistema de cuerpos.*

COROLARIO. — Cuando una reacción a volumen constante o a presión constante *desprende calor*, la reacción inversa *absorbe la misma cantidad de calor.*

El principio del estado inicial y el estado final permite calcular el valor de algunos calores de reacción cuya medida directa es prácticamente imposible.

Ejemplo : *Calor de formación del óxido de carbono.* Es imposible realizar la reacción $C + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CO$ en un calorímetro, pero sí se pueden medir por separado los calores de combustión del carbono y el óxido de carbono.

En efecto, el calor total desprendido al cabo de las dos reacciones sucesivas

$$C + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CO + x\,\text{kcal}$$

$$CO + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CO_2 + 68\ \text{kcal}$$

debe resultar igual al calor de combustión del carbono

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 94\ \text{kcal}$$

De estas ecuaciones se deduce que la formación del óxido de carbono es exotérmica y que en la reacción se desprenden

$$x = 94 - 68 = 26\ \text{kcal}$$

Calor de reacción. — Se llama *calor de reacción* al número de calorías desprendidas o absorbidas en una reacción efectuada tomando como base el número de moléculas-gramo indicadas en la ecuación de reacción.

Este valor se expresa, generalmente, en calorías o en kilocalorías, en el segundo miembro de la ecuación, poniéndose el signo + si la reacción es exotérmica y el signo − si es endotérmica.

Por ejemplo : $\underset{\text{(diamante)}}{C} + O_2 \rightarrow CO_2 + 94\ \text{kcal}$

El calor de reacción recibe el nombre de *calor de combustión* cuando se trata de oxidaciones completas en presencia de aire o de oxígeno y de *calor de formación* si la reacción consiste en una síntesis a partir de los elementos. Se mide por medio de un *calorímetro*, en cuyo interior se efectúa la reacción.

Poder calorífico de los combustibles. — La determinación de los calores de combustión ofrece un gran interés práctico.

El *poder calorífico* es el número de calorías desprendidas en la combustión de 1 kg del combustible considerado. El del carbono puro amorfo se acerca a 8 100 kcal y el de los carbones industriales oscila alrededor de 7 000 kcal.

El poder calorífico de un hidrocarburo es mucho más grande cuando la proporción que contiene de hidrógeno es mayor. Si no se tiene en cuenta el calor de formación del hidrocarburo, la combustión de 1 g de carbono desprende $\frac{94}{12} = 8$ kcal más o menos, mientras que la de 1 g de hidrógeno desprende $\frac{69}{2} = 34$ kcal aproximadamente.

Principio del trabajo máximo. — El *principio de Berthelot* o *principio del trabajo máximo* afirma que *un sistema, al estar alejado de las condiciones de equilibrio que manifiestan sus reacciones, tiende a provocar la reacción que desprende la cantidad de calor máxima.*

En la práctica hay un gran número de reacciones espontáneas que son exotérmicas, como la neutralización de los ácidos por las bases, y, conforme lo había concebido Berthelot, la regla enunciada por él ha sido muy útil para la previsión de las reacciones.



7. — Electrólisis y teoría de los iones

Electrólitos y no electrólitos. Electrólisis. Disociación electrolítica. *Teoría de Arrhenius.* Coeficiente de disociación electrolítica.

Electrólitos y no electrólitos. — Las sustancias, como los ácidos, las bases y las sales, que en disolución tienen la propiedad de ser conductoras de la corriente eléctrica, reciben el nombre de *electrólitos.* Las demás sustancias se consideran como *no electrólitos.*

Electrólisis. — Faraday llamó *electrólito* al líquido conductor de la corriente eléctrica y *electrodos* a los conductores metálicos en contacto con la disolución. El *ánodo* da entrada a la corriente y el *cátodo* le da salida.

Las partículas que en la disolución conducen la corriente eléctrica son los *iones,* divididos en *aniones,* que van al ánodo o electrodo positivo, y *cationes,* que van al cátodo o electrodo negativo. El recipiente que contiene la disolución y los electrodos recibe el nombre de *cuba electrolítica* o *voltámetro,* y la *electrólisis* (*fig.* 3) es el proceso químico producido en él por la corriente eléctrica.

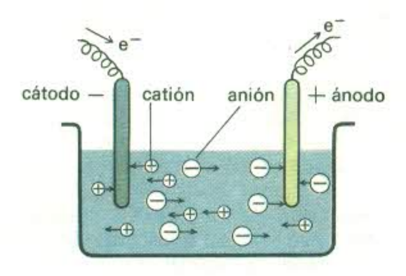


Fig. 3. Conductividad en los electrólitos : los iones negativos van al ánodo y los iones positivos al cátodo.

Disociación electrolítica. — *Teoría de Arrhenius.* — La *teoría de Arrhenius,* aunque inicialmente tuvo poca aceptación, ha sido de gran utilidad en la Química moderna al constituir la base teórica del comportamiento de los electrólitos en el desarrollo de la Electroquímica. La teoría de la disociación electrolítica se funda en los siguientes puntos :

1.° Los electrólitos, en disolución o fundidos, se disocian parcialmente en iones cargados eléctricamente haciendo que la carga total de los positivos sea igual a la carga total de los negativos. La disolución es neutra.

2.° La carga de los iones, átomos que forman los radicales de los electrólitos, es igual a su valencia. Es negativa (aniones) para los no metales y positiva (cationes) para los metales.

3.° Los iones actúan independientemente unos de otros así como de las moléculas no disociadas y constituyen partículas distintas con propiedades físicas y químicas características.

4.° La disociación de un electrólito es un proceso reversible, ya que los iones originados se unen a su vez para formar de nuevo las moléculas del correspondiente compuesto.

Coeficiente de disociación electrolítica. — El *coeficiente de disociación electrolítica* de un electrólito en disolución es la relación entre el número de moléculas *disociadas* y el número total de moléculas *disueltas.* El valor del mismo es siempre menor que 1 y varía de un electrólito a otro siendo mayor cuando la dilución aumenta. Así los *ácidos* y *bases fuertes* tienen iones muy disociados mientras que la solución de los *ácidos* y *bases débiles* contiene una mayoría de moléculas no disociadas.

8. — Ácidos, bases y sales

Concepto de ácido. Los ácidos según sus caracteres empíricos. Disociación iónica de los ácidos. Concepto de base. Disociación iónica de las bases. Capacidad de los ácidos y bases de ceder o aceptar protones (Bronsted). Ácidos fuertes y débiles. Concepto de sal.

Concepto de ácido. — Se da el nombre de *ácidos* a las combinaciones hidrogenadas que, además de otras propiedades, reaccionan con las bases para dar sales y agua. En esta reacción, el ácido cede átomos de hidrógeno y la base el mismo número de radicales hidroxilo.

Recibe la denominación de *radical ácido* la agrupación de átomos primitivamente unida al hidrógeno en la molécula del ácido.

Los ácidos según sus caracteres empíricos. — Los ácidos se clasifican en dos grupos : *hidrácidos* y *oxácidos.* Los primeros no tienen oxígeno, constan de halógeno e hidrógeno y se denominan con la palabra *ácido,* seguida del nombre del no metal terminado por el sufijo *hídrico.* Se consideran ácidos sólo cuando están disueltos en agua.

SH_2 = ácido sulfhídrico
FH = ácido fluorhídrico
TeH_2 = ácido telurhídrico
IH = ácido yodhídrico

Los segundos constan de oxígeno, hidrógeno y un no metal. Resultan de la reacción de un óxido ácido con el agua.

óxido ácido + agua = oxácido

$$SO_2 + H_2O = SO_3H_2$$

Se llaman igual que los óxidos de los que proceden, pero sustituyen la palabra *óxido* por *ácido.* Si un

elemento forma varios ácidos oxigenados, para distinguir unos de otros se hace terminar en *-ico* el nombre del elemento, cuando el ácido contiene mayor cantidad de oxígeno, y en *-oso* en el caso contrario, antecediendo a veces los prefijos *hipo-* o *per-* para indicar que tienen *menos* o *más* oxígeno que los demás ácidos de dicho elemento.

$ClOH$ = ácido hipocloroso
ClO_2H = ácido cloroso
ClO_3H = ácido clórico
ClO_4H = ácido perclórico
CO_3H_2 = ácido carbónico
SO_3H_2 = ácido sulfuroso
SO_4H_2 = ácido sulfúrico

Los ácidos tienen sabor parecido al del vinagre, enrojecen la tintura azul de tornasol y decoloran la fenolftaleína enrojecida por las bases. Producen efervescencia con el mármol y desprenden hidrógeno con algunos metales.

NOMBRE DEL ÁCIDO	FÓRMULA	ANIÓN	NOMBRE DEL ANIÓN Y SALES DERIVADAS	VALENCIA DEL ANIÓN
Hipocloroso	$ClOH$	ClO^-	Hipoclorito	—1
Clórico	ClO_3H	ClO_3^-	Clorato	—1
Brómico	BrO_3H	BrO_3^-	Bromato	—1
Nitroso	NO_2H	NO_2^-	Nitritro	—1
Nítrico	NO_3H	NO_3^-	Nitrato	—1
Sulfuroso	SO_3H_2	SO_3H^-	Sulfito ácido (bisulfito)	—1
		$SO_3^=$	Sulfito	—2
Sulfúrico	SO_4H_2	SO_4H^-	Sulfato ácido	—1
		$SO_4^=$	Sulfato	—2
Crómico	CrO_4H_2	$CrO_4^=$	Cromato	—2
Carbónico	CO_3H_2	CO_3H^-	Carbonato ácido (bicarbonato)	—2
		$CO_3^=$	Carbonato	
Metasilícico	SiO_3H_2	$SiO_3^=$	Metasilicato	—2
Fosforoso	PO_3H_3	$PO_3H_2^-$	Monofosfito	—1
		$PO_3H^=$	Bifosfito	—2
Fosfórico	PO_4H_3	$PO_4H_2^-$	Monofosfato	—1
		$PO_4H^=$	Bifosfato	—2
		$PO_4^{\equiv}$	Trifosfato	—3
Bórico	BO_3H_3	$BO_3^{\equiv}$	Borato	—3
Arsénico	AsO_4H_3	$AsO_4^{\equiv}$	Arseniato	—3
Metafosfórico	PO_3H	PO_3^-	Metafosfato	—1
Ortosilícico	SiO_4H_4	SiO_4^{-4}	Ortosilicato	—4
Perclórico	ClO_4H	ClO_4^-	Perclorato	—1
Permangánico	MnO_4H	MnO_4^-	Permanganato	—1

Disociación iónica de los ácidos. — La *disociación iónica* se produce cuando los ácidos se hallan disueltos en el agua y consiste en la disociación de la molécula del ácido en dos partes, cada una de las cuales presenta cargas eléctricas de signo contrario. Estas partes se llaman iones, divididos, según se dijo antes, en cationes y aniones, con carga positiva o negativa, respectivamente. En los ácidos, los cationes son los iones hidrógeno o *hidrogeniones*, y los aniones están formados por el grupo restante o *residuo halogénico*.

Esta disociación iónica puede expresarse por las reacciones siguientes :

$$SO_4H_2 \rightleftarrows SO^{=}_4 + 2H^+$$

En los ácidos polibásicos, que originan más de un hidrogenión, la disociación es gradual :

$$SO_4H_2 \rightleftarrows SO_4H^- + H^+$$

o bien $$SO_4H_2 + H_2O \rightleftarrows SO_4H^- + H_3O^+$$

$$SO_4H^- \rightleftarrows SO_4^= + H^+$$

o $$SO_4H^- + H_2O \rightleftarrows SO_4^= + H_3O^+$$

Ácido es, por tanto, aquella sustancia que al disolverse en el agua da iones hidrógeno o iones H_3O^+

Concepto de base. — Las *bases* o *hidróxidos* son compuestos formados por hidrógeno, oxígeno y metal. El hidrógeno y el oxígeno están unidos formando el radical *oxhidrilo* $(OH)^-$ o *hidroxilo*.

Proceden de la reacción de un óxido básico con agua :

óxido + agua = hidróxido

$$BaO + H_2O \rightarrow Ba(OH)_2$$

Se denominan con la palabra genérica *hidróxido*, seguida del nombre del metal con el sufijo *-oso* o *-ico*.

$NaOH$ = hidróxido sódico; $Fe(OH)_2$ = hidróxido ferroso
$Al(OH)_3$ hidróxido alumínico; $Fe(OH)_3$ = hidróxido férrico

Las bases disueltas en agua tienen sabor a lejía, azulean el papel de tornasol y enrojecen la disolución de fenolftaleína.

Disociación iónica de las bases. — Las bases experimentan también la *disociación iónica* y dan iones metálicos positivos (cationes) e iones oxhidrilos negativos (aniones), según las reacciones siguientes

$$NaOH \rightleftarrows Na^+ + OH^-$$
$$Ca(OH)_2 \rightleftarrows Ca^{++} + 2OH^-$$

Las bases se consideran *fuertes* cuando se disocian completamente en iones y *débiles* si sólo lo hace una pequeña fracción de las moléculas disueltas.

Los hidróxidos de los metales alcalinos son bases fuertes, y débiles los hidróxidos de los metales alcalinotérreos y pesados, como los hidróxidos de calcio, plata y plomo.

Capacidad de los ácidos y bases de ceder o aceptar protones (Bronsted). — El químico danés Johannes Nicolaus Bronsted (1879-1947) renovó la teoría de Arrhenius. El carácter ácido de una sustancia, según la moderna teoría electrónica, no se debe a la presencia de iones H^+ en su disolución acuosa, sino a la facilidad en ceder protones. Cuando esto se produce en el agua, se forman iones *hidronio* H_3O^+ :

$$ClH + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + Cl^-$$

Así, se puede decir que *ácido es cualquier sustancia capaz de ceder protones.*

Los iones, si se tiene en cuenta esta definición, han de considerarse como ácidos. La reacción ácida de los bisulfatos (SO_4HMe) en disolución acuosa es

$$SO_4H^- + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + SO_4^=$$

siendo *Me* un metal cualquiera.

De manera análoga se explica la reacción ácida de las sales de amonio (NH_4^+)

$$NH_4^+ + H_2O \rightleftarrows H_3O^+ + NH_3$$

Actualmente se distinguen, por lo tanto, tres clases de ácidos : *neutros* (ClH), *aniónicos* (SO_4H^-) y *catiónicos* (NH_4^+), ya que todos ellos pueden ceder protones.

Del mismo modo que para los ácidos, se dice que *base es toda sustancia capaz de aceptar protones.* Si éstos proceden de la molécula del agua, se forman iones hidroxilo OH^- :

$$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$$

También los iones pueden ser bases, por ejemplo

$$ClO^- + H_2O \rightleftarrows ClOH + OH^-$$

Se debe, por consiguiente, distinguir entre las bases *neutras* (NH_3), *aniónicas* (ClO^-) y *catiónicas* (hidróxidos metálicos, MeOH).

Un ácido y una base están *conjugados* cuando difieren en un protón, como

$$\underset{\text{ácido}}{NH_4^+} \rightleftarrows \underset{\text{base}}{NH_3} + H^+$$

El radical amonio NH^+ y el amoniaco NH_3 son ácido y base conjugados. E igualmente en

$$\underset{\text{ácido}_1}{ClH} + \underset{\text{base}_1}{H_2O} \rightleftarrows \underset{\text{base}_2}{Cl^-} + \underset{\text{ácido}_2}{H_3O^+}$$

La base conjugada del ácido ClH es el anión Cl^- y el ácido conjugado de la base agua es el ion hidronio H_3O^+. A un ácido fuerte corresponde una base conjugada débil y viceversa.

Ácidos fuertes y débiles. — Reciben el nombre de *ácidos fuertes* aquellos que están completamente disociados en disoluciones diluidas, como el SO_4H_2, NO_3H, ClO_4H, etc. Los *ácidos débiles* son los que tienen numerosas moléculas sin disociar, existiendo un equilibrio químico entre las que no están disociadas y los iones. A un equilibrio de este tipo se le puede aplicar la ley de acción de masas. Son ácidos débiles el acético ($CH_3 - COOH$), el carbónico (CO_3H_2), etc.

Ejemplo : la disociación parcial del ácido acético es

$$CH_3 - COOH \rightleftarrows CH_3 - COO^- + H^+$$

Aplicando la ley de acción de masas, tendremos el valor de la constante de ionización del ácido

$$K_C = \frac{(CH_3 - COO^-)(H^+)}{(CH_3 - COOH)}$$

La constante K_C, característica del ácido, se denomina *constante de ionización*, y es menor cuanto más débil sea el ácido.

Concepto de sal. — Las *sales*, cuerpos que resultan de la acción de los ácidos o anhídridos sobre las bases u óxidos o de la acción de los ácidos sobre los metales, proceden de la sustitución del hidrógeno en las moléculas de los ácidos por un metal. El *equivalente* o *valencia gramo* de un metal corresponde a la masa de dicho metal capaz de reemplazar 1 gramo de hidrógeno (exactamente 1,008 g) y es igual al cociente de la masa atómica por la valencia.

Química inorgánica

La Química descriptiva suele dividirse en *orgánica* e *inorgánica*. Esta última comprende el estudio de los metales y de los no metales o metaloides así como de las diversas combinaciones que existen entre todos esos cuerpos.

9. — Hidrógeno

Estado natural. Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Aplicaciones.

Estado natural. — El hidrógeno (H = 1,008) existe en la atmósfera en cantidad muy reducida, puesto que representa aproximadamente una diezmilésima parte del volumen de ésta. Constituye, sin embargo, el elemento más importante en las nebulosas y estrellas. También se encuentra entre los gases naturales y los que emiten los volcanes. Se presenta muy frecuentemente en estado combinado como en la constitución del agua y en otras numerosas sustancias orgánicas.

Obtención. — El hidrógeno se obtiene de muy diferentes maneras.

Por electrólisis del agua. Puesto que el agua conduce mal la corriente eléctrica, para realizar la electrólisis de aquélla se utiliza una solución (de 10 a 25 %) de sosa (NaOH), de potasa (KOH) o de carbonato potásico (CO_3K_2), empleando electrodos de hierro. La reacción total conduce a la descomposición electrolítica del agua. Con la sosa estas reacciones se escriben

$$2NaOH \rightarrow 2Na^+ + 2OH^-$$

$$2OH^- \rightarrow H_2O + \frac{1}{2} O_2 \uparrow \text{ en el ánodo}$$

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2 \uparrow \text{ en el cátodo}$$

Sumando miembro a miembro :

$$2NaOH + 2OH^- + 2Na^+ + 2H_2O \rightarrow 2Na^+ + 2OH^- + H_2O + \frac{1}{2} O_2 + 2NaOH + H_2$$

Este método es oneroso, pero permite obtener hidrógeno puro y oxígeno al mismo tiempo.

Por reducción del gas de agua. Se reduce el vapor de agua mediante carbón calentado al rojo; esta operación conduce a la formación del gas de agua, mezcla de hidrógeno y óxido de carbono, utilizándolo como combustible gaseoso (*fig.* 4) :

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

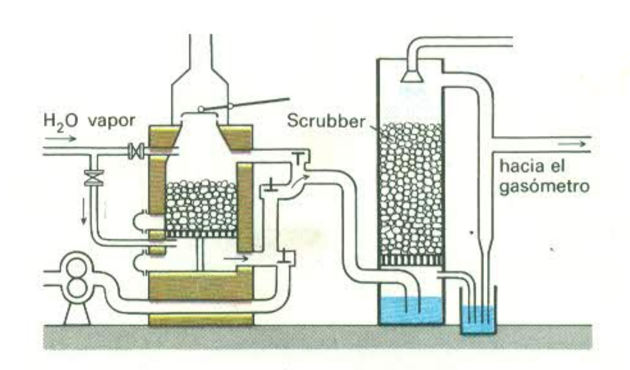


Fig. 4. Aparato para producir gas de agua.

A continuación, se separa el óxido de carbono, ya por licuación fraccionada (procedimiento Claude), ya oxidándolo por un exceso de vapor de agua, en presencia de un catalizador apropiado (procedimiento Haber). Así, al ponerse en contacto con óxido de hierro, el vapor de agua y el óxido de carbono dan una mezcla de anhídrido carbónico e hidrógeno :

$$CO + H_2O \rightleftarrows CO_2 + H_2$$

El anhídrido carbónico formado se disuelve en el agua a presión o bien se licúa la mezcla.

Descomposición del vapor de agua por un metal. Se emplea también la reducción del vapor de agua por el hierro

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$$

Se recoge el hidrógeno, mientras que el óxido de hierro es reducido por el óxido de carbono para regenerar el hierro :

$$4CO + Fe_3O_4 \rightarrow 4CO_2 + 3Fe$$

El hidrógeno se obtiene también al verter ácido clorhídrico en un recipiente con limaduras de cinc.

Propiedades. — *Físicas.* El hidrógeno, gas incoloro, inodoro e insípido, es el más ligero de todos los cuerpos conocidos. Tiene una densidad con respecto al aire de 0,07. Es, después del helio, el gas más difícil de licuar. Hierve a 20º absolutos (aproximadamente − 253 ºC) a la presión atmosférica y actúa, a la temperatura ordinaria, de modo parecido al de los gases ideales. Es muy poco soluble en agua y muy soluble, en frío, en el paladio, que aumenta de volumen al disolverlo. Es relativamente buen conductor del calor y de la electricidad y, al ser el gas que presenta mayor conductividad, se puede emparentar con los metales.

Químicas. El hidrógeno es poco activo en frío, pero, en caliente, y en presencia de catalizadores, se combina con la mayor parte de los metaloides y con algunos metales. Su afinidad con el oxígeno y los halógenos hace que se le incluya a veces entre los metales, con los que presenta numerosas analogías.

Se combina directamente con los cuatro halógenos, para dar los hidrácidos FH, ClH, BrH, IH, con desprendimiento de calor decreciente.

Una mezcla de hidrógeno y oxígeno o aire hace explosión si se pone en contacto con una llama o una chispa eléctrica :

$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$$

El hidrógeno arde en el aire, con una llama poco visible, y produce agua, como lo muestra la figura 5.

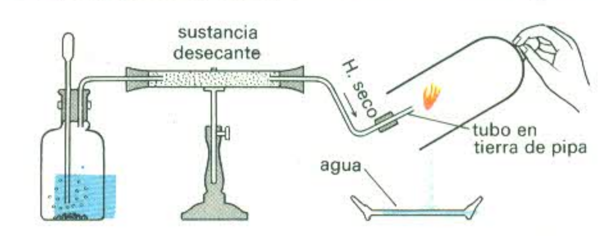


Fig. 5. La combustión del hidrógeno en el aire produce agua.

El hidrógeno se combina con otros no metales (con el azufre da SH_2, con el nitrógeno NH_3, etc.) y también, en caliente, con los metales alcalinos y alcalinotérreos. Los hidruros obtenidos, NaH, KH, CaH_2, se descomponen por el agua con desprendimiento de hidrógeno :

$$CaH_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H_2$$

El hidrógeno, ávido de cloro y de oxígeno, puede sustraer estos elementos de sus combinaciones, diciéndose en este caso que las *reduce.* Las reducciones o las hidrogenaciones tienen lugar en varias circunstancias.

Aplicaciones. — La aplicación industrial más importante del hidrógeno es la síntesis del amoniaco, pero también se emplea este cuerpo en la industria química para la fabricación de carburantes sintéticos, alcohol de quemar y determinados disolventes. Se utiliza asimismo, dada su extrema ligereza, para llenar globos aerostáticos.

10. — Halógenos

Características generales. — **Flúor :** Estado natural y obtención. Ácido fluorhídrico. — **Cloro :** Estado natural. Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Aplicaciones. Ácido clorhídrico. *Propiedades. Aplicaciones.* Cloruros decolorantes. *Preparación industrial. Propiedades.* Cloratos y percloratos. *Preparación industrial. Propiedades.* — **Bromo :** Estado natural. Preparación industrial. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Aplicaciones. Ácido bromhídrico. *Preparación. Propiedades.* Compuestos oxigenados del bromo. — **Yodo :** Preparación industrial. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Reconocimiento y determinación cuantitativa. Aplicaciones. Ácido yodhídrico. *Preparación. Propiedades.* — **Astato :** Haluros de no metales.

Características generales. — El *flúor,* el *cloro,* el *bromo,* el *yodo* y el *astato,* llamados metaloides *halógenos,* constituyen el grupo de los no metales monovalentes. Todos ellos son coloreados en estado gaseoso y, desde el punto de vista químico, presentan propiedades electronegativas muy acusadas, de donde se deriva la gran afinidad que tienen con el hidrógeno y los metales.

Flúor (*F* = *19*)

Estado natural y obtención. — El flúor se encuentra en la Naturaleza en forma de fluoruros metálicos, entre los cuales los más importantes son la *fluorita* (F_2Ca) y la *criolita* ($Na_3Al\ F_6$). Puede obtenerse por electrólisis de un fluoruro alcalino mezclado con ácido clorhídrico anhidro (FH, FK) en estado de fusión, con un cátodo de cobre y un ánodo de níquel. Estos metales se utilizan porque el ataque que sufren es solamente superficial.

Ácido fluorhídrico (FH). — El ácido fluorhídrico, líquido incoloro que hierve a 20 ºC, es un compuesto muy estable, que no se disocia por efecto del calor. Ataca a la mayor parte de los metales y su solución tiene propiedades ácidas. Reacciona con las bases dando fluoruros.

Ataca a la sílice y a los silicatos según la reacción

$$SiO_2 + 4FH \rightarrow SiF_4 + 2H_2O$$

Esta propiedad da lugar al grabado del vidrio, aplicación más importante del ácido fluorhídrico. Éste se obtiene por acción del ácido sulfúrico concentrado sobre la fluorita, a temperatura poco elevada :

$$F_2Ca + SO_4H_2 \rightarrow SO_4Ca + 2FH$$

Los vapores que se han obtenido de esta forma se condensan o se disuelven en agua.

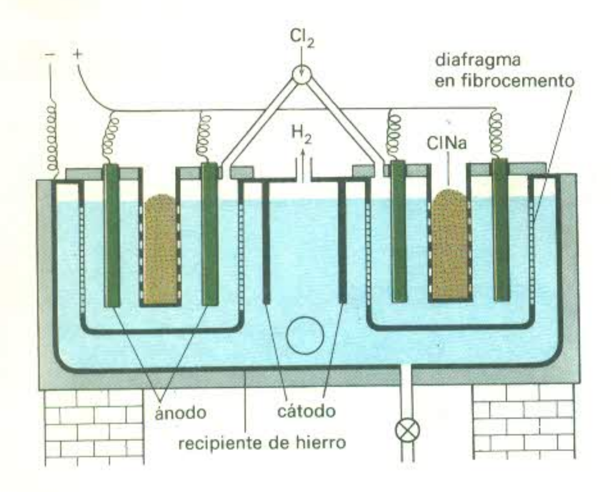


Fig. 6. Preparación electrolítica de cloro y sosa.

Cloro *(Cl = 35,457)*

Estado natural. — La mayor parte del cloro existente en la Naturaleza se halla en forma de cloruros, entre los cuales el más importante es el cloruro sódico o sal marina (ClNa). Existen también en yacimientos salinos los cloruros de potasio (ClK) y de magnesio, como la carnalita (Cl_2Mg ClK $6H_2O$), que abunda en las minas de Stassfurt (Alemania).

Obtención. — EN EL LABORATORIO. — Se oxida la solución comercial de ácido clorhídrico empleando, generalmente, el bióxido de manganeso :

$$MnO_2 + 4ClH \rightarrow 2H_2O + Cl_2Mn + Cl_2$$

Calentándolo ligeramente, se recoge el cloro por desplazamiento.

Se utilizan también como oxidantes el cloruro de cal, que reacciona en frío, o el permanganato potásico.

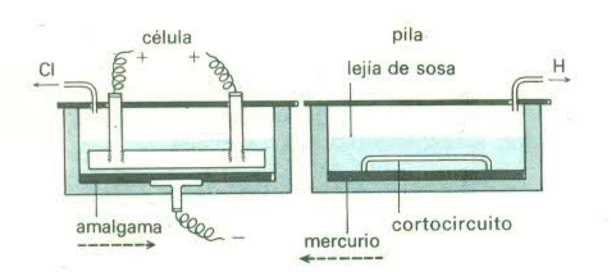
EN LA INDUSTRIA. — La materia prima utilizada es el cloruro sódico, del que se extrae el cloro por electrólisis, o el ácido clorhídrico liberado y oxidado después. Actualmente, los procedimientos electrolíticos son casi los únicos empleados y producen sosa al mismo tiempo que cloro.

La electrólisis de las soluciones acuosas de cloruro sódico da lugar a reacciones secundarias. En el cátodo, el sodio reacciona con el agua y produce sosa e hidrógeno :

$$Na + H_2O \longrightarrow NaOH + \frac{1}{2} H_2$$

La sosa se difunde hacia el ánodo y da con el cloro un hipoclorito o un clorato; por lo tanto, para obtener el cloro se debe evitar esta reacción secundaria.

Fig. 7. Electrolizador Krebbs con cátodo de mercurio para la producción de cloro.



Para conseguir cloro por separado se sigue el procedimiento de los *diafragmas*. Se divide en dos compartimientos la cuba electrolítica por medio de un tabique poroso, que impide la difusión de la sosa sin ofrecer una resistencia excesiva al paso de la corriente (*fig.* 6). Se utilizan igualmente cubas con cátodo de mercurio. El sodio liberado, si la proporción es relativamente pequeña, forma con el cátodo una amalgama que no se descompone por efecto del agua salada. Esta amalgama pasa a las cubas para descomponerse en sosa y mercurio, que vuelve a la cuba electrolítica (*fig.* 7). El cloro así obtenido se licúa y se expende en tubos de acero.

El *procedimiento Deacom* utiliza la reacción reversible

$$4ClH + O_2 \rightleftarrows 2H_2O + 2Cl_2$$

La mezcla de aire y gas clorhídrico purificado llega a 400 °C en los ladrillos impregnados de cloruro cúprico (Cl_2Cu), que cataliza la reacción.

Propiedades. — *Físicas.* — El cloro es un gas verde amarillento, de olor sofocante, muy peligroso para la respiración y tiene una densidad, con respecto al aire, de 2,5.

Se licúa fácilmente, en forma de líquido verde amarillento también, que, al enfriarse, da cristales amarillos. En estado gaseoso se disuelve muy bien en el agua (1 litro de agua disuelve 3 litros de gas a 10 °C).

Químicas. — El cloro es, después del flúor, el elemento más activo de todos los existentes; se combina directamente con la mayor parte de los cuerpos simples, salvo con el flúor, el oxígeno y los gases nobles. Se une con el hidrógeno para formar el ácido clorhídrico :

$$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2ClH$$

La reacción, explosiva a la luz del sol o al contacto de una llama, es lenta a la luz difusa y casi nula en la oscuridad. Desprende un calor considerable (43,7 kcal), lo que explica por qué el cloro puede destruir numerosas combinaciones hidrogenadas. Descompone el vapor de agua al rojo

$$2H_2O + 2Cl_2 \rightarrow 4ClH + O_2$$

Pero, en frío, por efecto de la luz, se forman lentamente ácido clorhídrico y ácido hipocloroso

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow ClH + ClOH$$

El cloro descompone además los hidrácidos halogenados (excepto el ácido fluorhídrico) y destruye el sulfuro de hidrógeno y el amoniaco, por lo cual se utiliza como desinfectante

$$4\,NH_3 + \frac{3}{2}\,Cl_2 \rightarrow 3\,ClNH_4 + \frac{1}{2}\,N_2$$

Destruye, en diversas condiciones, los hidrocarburos como, por ejemplo, el acetileno y la esencia de trementina que se inflaman al entrar en contacto con él.

Se combina, en presencia de humedad, con todos los metales. Hace arder el sodio, el hierro y el cobre, si éstos se introducen en un frasco que lo contiene, ataca en frío al mercurio y, mezclado con agua, disuelve el oro. Es mucho menos activo cuando está seco, hasta tal punto que se pueden utilizar tubos de hierro o de acero para su transporte y conservación en estado líquido.

Las reacciones sobre los metales de varias valencias conducen siempre al compuesto más clorado; se obtienen de esta manera los cloruros Cl_3Al, Cl_3Fe y Cl_4Sn.

La afinidad del cloro con los metales permite prever su acción sobre los compuestos metálicos. Descompone los bromuros y los yoduros, así como numerosos óxidos. Con la sosa y la potasa da, en frío y en solución diluida, hipocloritos. Se combina también con casi todos los no metales. Por medio de una acción directa sobre el azufre da Cl_2S_2 y Cl_4S.

El fósforo y el arsénico se inflaman en el cloro y forman Cl_3P, Cl_5P y Cl_3As.

El cloro se une con ciertos cuerpos no saturados, como los hidrocarburos etilénicos, el anhídrido sulfuroso, el óxido nítrico, el óxido de carbono; se obtienen así, por síntesis, los cloruros de ácidos SO_2Cl_2 y $COCl_2$.

Produce reacciones de sustitución con los hidrocarburos saturados y con los hidrocarburos bencénicos.

Aplicaciones. — El cloro se utiliza en la industria para la fabricación del ácido clorhídrico por síntesis, para la obtención de diversos cloruros metálicos y para la preparación de los cloruros decolorantes y de numerosos disolventes orgánicos. Se emplea también para el blanqueo y la desinfección.

Ácido clorhídrico (ClH). — Para obtener ácido clorhídrico se calienta progresivamente cloruro sódico con ácido sulfúrico concentrado y se producen las reacciones siguientes

$$ClNa + SO_4H_2 \rightarrow SO_4HNa + ClH\uparrow$$
$$ClNa + SO_4HNa \rightarrow SO_4Na_2 + ClH\uparrow$$

Antes se utilizaba este método para obtener el sulfato sódico empleado para la fabricación de vidrio. Desde que el procedimiento *Solvay* se ha generalizado, el producto principal de la reacción es el ácido clorhídrico. La operación se efectúa en hornos de reverbero con solera giratoria. Los vapores que salen de los hornos se enfrían y se disuelven en agua. La solución comercial así obtenida contiene diversas impurezas, muy difíciles de eliminar, especialmente sales de hierro, que le dan un color amarillo, o ácido sulfúrico, arrastrado por los vapores. Exite también otro procedimiento que se basa en la síntesis industrial

$$Cl_2 + H_2 \rightarrow 2ClH$$

que provoca la reacción, en un soplete de cuarzo, de la mezcla gaseosa de hidrógeno y cloro producida por la electrólisis del cloruro sódico. El ácido obtenido de este modo es puro.

Propiedades. — FÍSICAS. — El ácido clorhídrico es un gas incoloro, de olor picante, un poco más denso que el aire, bastante fácil de licuar y muy soluble en el agua. Por ebullición, las soluciones forman una mezcla azeotrópica, es decir, de líquidos que hierven a temperatura fija, conservando una composición constante, y las que están suficientemente concentradas desprenden cloruro de hidrógeno en forma de humo, por lo que se llama a esta solución saturada *ácido clorhídrico fumante*.

QUÍMICAS. — El ácido clorhídrico, compuesto muy exotérmico, es estable, fuerte y sólo se disocia a temperaturas muy elevadas. Se descompone con los metales, el flúor y el oxígeno. La reacción con este último únicamente se verifica al rojo y se establece el equilibrio

$$4ClH + O_2 \rightarrow 2Cl_2 + 2H_2O$$

Los cuerpos oxidantes reaccionan a temperaturas más bajas. El bióxido de manganeso, el permanganato potásico y el cloruro de cal descomponen el ácido clorhídrico liberando cloro.

Los metales, excepto el oro y el platino, el silicio y el boro fijan el cloro y liberan el hidrógeno. Los metales alcalinos y alcalinotérreos, el aluminio, el cinc y el hierro son atacados en frío por una disolución de ácido clorhídrico

$$Fe + 2ClH \rightarrow Cl_2Fe + H_2$$

Este ácido es fuerte por tener una disociación iónica muy elevada, obra sobre los reactivos coloreados, neutraliza las bases dando cloruros, descompone numerosas sales (sulfuros, carbonatos, etc.) y forma ésteres al combinarse con los alcoholes.

Aplicaciones. — Empleado para la fabricación del cloro, el ácido clorhídrico interviene también en numerosas preparaciones (cloruro de cinc, de estaño, de amonio) y sirve asimismo para la extracción de la oseína de los huesos, la producción de la gelatina, el tratamiento de fosfatos, jabones y melazas, y la desoxidación de los metales.

Compuestos oxigenados del cloro

VALENCIA	ANHÍDRIDOS, ÓXIDOS	ÁCIDOS	SALES
I	Cl_2O (monóxido de cloro)	ClOH (ác. hipocloroso)	hipocloritos
III		ClO_2H (ác. cloroso)	cloritos
IV	ClO_2 (dióxido de cloro)		
V		ClO_3H (ác. clórico)	cloratos
VI	Cl_2O_6 (trióxido de cloro)		
VII	Cl_2O_7 (heptóxido de cloro)	ClO_4H (ác. perclórico)	percloratos

El dióxido y el trióxido de cloro, que tienen las valencias pares IV y VI, son básicos, mientras que el monóxido y el heptóxido son anhídridos a los que corresponden los ácidos hipocloroso y perclórico.

Todos estos compuestos son inestables y pueden, por tanto, emplearse como oxidantes o clorurantes.

Cloruros decolorantes. — Se designa con este nombre a las sales del ácido hipocloroso, al agua de Javel, que es una solución de hipoclorito sódico (ClONa) con cloruro sódico (ClNa), y al cloruro de cal (Cl_2OCa).

Preparación industrial. — Para obtener el *cloruro de cal* se hace pasar una corriente gaseosa de cloro sobre una capa delgada de cal apagada :

$$Ca(OH)_2 + Cl_2 \rightarrow Cl_2OCa + H_2O$$

Se logra así un cuerpo en estado pulverulento, que contiene también cal apagada y carbonato cálcico.

El hipoclorito sódico o *agua de Javel* resulta de la acción del cloro sobre una solución de sosa diluida y fría :

$$2NaOH + Cl_2 \rightarrow ClONa + ClNa + H_2O$$

Esta reacción se produce en la electrólisis del cloruro sódico, si no se separan los electrodos.

Se prepara también diluyendo cloruro de cal en una solución de carbonato o sulfato sódico :

$$Cl_2OCa + CO_3Na_2 \rightarrow CO_3Ca + ClNa + ClONa$$

Después de separar el carbonato cálcico insoluble, se obtiene un líquido amarillo verdoso que contiene las otras dos sales disueltas. Los hipocloritos no son cristalizables.

Propiedades. — FÍSICAS. — El agua de Javel, que, como se ha dicho anteriormente, consiste en una solución acuosa de cloruro sódico (ClNa) y de hipoclorito sódico (ClONa), es de color verdoso y desprende olor de cloro.

El cloruro de cal es un sólido grumoso blanco amarillento, que huele a cloro.

QUÍMICAS. — El cloruro de cal, cuya fórmula es Cl_2OCa, reacciona con el anhídrido carbónico del aire y deja en libertad el cloro que contiene :

$$Cl_2OCa + CO_2 \rightarrow CO_3Ca + Cl_2$$

Esta reacción explica su empleo como desinfectante.

La acción catalítica del cloruro de cobalto descompone los hipocloritos en cloruros y oxígeno; una elevación de la temperatura los transforma en cloratos más estables :

$$3\,ClONa \rightarrow ClO_3Na + 2\,ClNa$$

Los hipocloritos son oxidantes, sobre todo en medio ácido, oxidan el yodo, el azufre, el fósforo y el ácido clorhídrico, y dejan en libertad el cloro. Hacen lo mismo con un gran número de otros cuerpos orgánicos, lo que les da el carácter de decolorantes y desinfectantes. Su concentración depende del volumen de cloro que dejan en libertad y la determinación cuantitativa de éstos se realiza por oxidación del anhídrido arsenioso. Se suele emplear el índigo como indicador.

Cloratos y percloratos. — *Preparación industrial.* — Se preparan los cloratos sódico y potásico por electrólisis de una solución concentrada y tibia del cloruro correspondiente y se forman por la acción del cloro sobre el álcali. Se obtienen al mismo tiempo percloratos.

Propiedades. — Los cloratos y percloratos alcalinos se presentan en forma cristalizada y son más estables que los hipocloritos. Se transforman, al calentarse, en cloruros y liberan oxígeno.

Estas sales son oxidantes muy enérgicos. En presencia de cuerpos reductores (azufre, carbón, azúcar) forman mezclas que detonan por calentamiento, choque o contacto con ácido sulfúrico. Sirven también para la fabricación de algunos tipos de cerillas y de algunos colorantes. El clorato potásico se utiliza como desinfectante y el sódico para destruir hierbas perniciosas.

Bromo (*Br = 79,916*)

Estado natural. — El bromo se encuentra, en estado de bromuro, en el agua del mar, en los vegetales marinos y en algunos yacimientos y manantiales salinos. Se le reconoce por el color rojo y por el olor irritante de los vapores que emite.

Preparación industrial. — La mayor parte del bromo utilizado en Europa procede de Stassfurt (Alemania). Las aguas madres, resultantes de la extracción de la *carnalita* (Cl_2Mg ClK $6\,H_2O$), contienen una cantidad notable de bromuro de magnesio y se tratan con cloro, que desplaza al bromo :

$$Br_2Mg + Cl_2 \rightarrow Cl_2Mg + Br_2$$

Los vapores de bromo se condensan y se purifican por destilación.

Propiedades. — *Físicas.* — El bromo es un líquido de color rojo intenso, muy denso, que emite, en frío, vapores rojos sofocantes. Es ligeramente soluble en agua (agua de bromo) y mucho más en éter, cloroformo y sulfuro de carbono.

Químicas. — El bromo presenta gran analogía química con el cloro y, como éste, es muy activo. Se combina al rojo con el hidrógeno, dando ácido bromhídrico (BrH). Ataca a la mayor parte de los metales, dando bromuros, y se combina en reacción explosiva con el fósforo, formando el tribromuro (PBr_3), líquido incoloro, y el pentabromuro (PBr_5), sólido amarillo. El agua de bromo es oxidante. Con una solución alcalina diluida se obtienen bromuro e hipobromito :

$$Br_2 + 2\,KOH \rightarrow BrK + BrOK + H_2O$$

y bromato (BrO_3K) con una solución concentrada :

$$3\,Br_2 + 6\,NaOH \rightarrow 5\,BrNa + BrO_3Na + 3\,H_2O$$

En Química orgánica da lugar a numerosos derivados de sustitución o de adición, utilizados para síntesis.

Aplicaciones. — El bromo se emplea mucho en las industrias de colorantes y de productos farmacéuticos y fotográficos. Se utiliza esencialmente en la industria del tetraetilplomo, antidetonante que se añade a los carburantes.

Acido bromhídrico (BrH). — *Preparación.* — Se puede obtener el ácido bromhídrico enviando una corriente de hidrógeno y vapor de bromo a través de un tubo caliente.

Los bromuros de fósforo (PBr_3 y PBr_5) se descomponen por el agua :

$$PBr_5 + 4H_2O \rightarrow PO_4H_3 + 5BrH$$

Si se deja caer el bromo gota a gota en una retorta calentada ligeramente, que contiene agua y fósforo rojo, se recoge el ácido bromhídrico por desplazamiento o disuelto en el agua.

Propiedades. — FÍSICAS. — Este compuesto químico es un gas incoloro, muy soluble en el agua, cuyas soluciones son humeantes. Éstas, al principio incoloras, se vuelven amarillas y luego rojas al entrar en contacto con la atmósfera a causa de la reacción

$$2BrH + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O + Br_2$$

en la que se desprende bromo libre.

QUÍMICAS. — El ácido bromhídrico es de menor estabilidad que el ácido clorhídrico y se disocia fácilmente al elevar la temperatura. El flúor, el cloro en frío y el oxígeno al rojo lo destruyen y liberan bromo. Ataca fácilmente a todos los metales, excepto al oro y al platino. Es un ácido fuerte, al igual que el ácido clorhídrico, y las sales *(bromuros)* son isomorfas de los cloruros correspondientes. Estos bromuros forman con el nitrato de plata un precipitado insoluble de bromuro de plata, de color blanco amarillento, que se descompone a la luz.

Compuestos oxigenados del bromo. — Los dos compuestos oxigenados más conocidos son el ácido hipobromoso (BrOH) y el ácido brómico (BrO_3H). Ambos presentan gran analogía con los compuestos de cloro correspondientes, aunque su actividad y su empleo son menores.

Yodo *(I = 126,91)*

El yodo se encuentra en forma de yoduros o de yodatos (INa, IO_3Na) contenidos en los nitratos de Chile y Perú. Existe combinado en las aguas del mar y en los vegetales marinos.

Preparación industrial. — Casi el 80 % del yodo comercial se obtiene a partir del yodato sódico que contienen los nitratos de Chile y Perú. Una parte del yodato se reduce al estado de yoduro por una corriente de anhídrido sulfuroso o por adición de bisulfito sódico :

$$IO_3Na + 3SO_3HNa \rightarrow INa + 3SO_4HNa$$

Estas sales, en medio ácido, son semejantes a los ácidos correspondientes; el ácido yodhídrico al reducir el yódico, deja en libertad al yodo :

$$IO_3H + 5IH \rightarrow 3H_2O + 3I_2$$

Se prepara asimismo el yodo por acción del ácido sulfúrico sobre una mezcla de yoduro potásico y bióxido de manganeso :

$$2IK + MnO_2 + 3SO_4H_2 \rightarrow 2SO_4HK + SO_4Mn + 2H_2O + I_2$$

El yodo bruto se purifica por destilación doble.

Propiedades. — *Físicas.* — El yodo se presenta en forma de pajuelas de color violeta, con brillo metálico. Funde a 115 °C, pero generalmente comienza a sublimarse a temperaturas inferiores, a causa de la elevada tensión del vapor. Es poco soluble en agua, pero muy soluble en las soluciones de ácido yodhídrico o de yoduros alcalinos y en disolventes orgánicos. Las soluciones que se producen son pardas (agua, alcohol, éter) o violetas (cloroformo, sulfuro de carbono). La solución en alcohol, llamada *tintura de yodo*, se emplea mucho para desinfectar heridas.

Químicas. — El yodo, semejante al cloro y al bromo por sus reacciones con el hidrógeno y los metales, se oxida con mayor facilidad que éstos. Se combina con el hidrógeno calentando la mezcla en un tubo cerrado, descompone el sulfuro de hidrógeno y ataca a las materias orgánicas, lo que le da propiedades antisépticas.

Ataca a los metales en caliente, dando yoduros, y con los álcalis produce una mezcla de yoduro y yodato :

$$3I_2 + 6NaOH \rightarrow 5INa + IO_3Na + 3H_2O$$

Los oxidantes (agua de cloro, permanganato potásico) transforman el yodo en ácido yódico (IO_3H).

Reconocimiento y determinación cuantitativa. — Una muestra de yodo es suficiente para teñir de azul el agua de almidón, coloración que desaparece al calentar la solución y vuelve a presentarse al enfriarla. La yodometría se efectúa con una solución graduada de tiosulfato sódico, en presencia de agua de almidón.

Aplicaciones. — El yodo se utiliza para la preparación de yoduros de potasio y de mercurio, así como de la tintura de yodo, y para la síntesis de numerosos productos orgánicos.

Ácido yodhídrico (IH). — ***Preparación.*** — Este ácido se prepara provocando, en presencia de agua, la reacción del fosforo sobre el yodo :

$$P + \frac{5}{2} I_2 + 4H_2O \longrightarrow PO_4H_3 + 5IH$$

o por la acción del ácido fosfórico sobre el yoduro potásico :

$$PO_4H_3 + IK \rightarrow PO_4H_2K + IH$$

Propiedades. — El ácido yodhídrico es un gas incoloro, muy soluble en el agua, que puede arder y que se disocia fácilmente por el calor. Los otros tres halógenos y el oxígeno lo destruyen. Ataca fácilmente a los metales, en particular a la plata y al mercurio en frío. Es un monoácido fuerte, que reacciona con las bases para dar los *yoduros*. El de plata (IAg) es un precipitado amarillo, soluble en el tiosulfato sódico.

Compuestos oxigenados del yodo

VALENCIA	ANHÍDRIDO	ÁCIDOS, BASES	SALES
I		IOH (ác. hipoyodoso)	hipoyoditos
III		$I(OH)_3$ (base inestable)	sales de yodo trivalente
V	I_2O_5 (pentóxido de yodo)	IO_3H (ác. yódico)	yodatos
VII		IO_6H_5 (ác. peryódico)	peryodatos

Estos compuestos tienen menos importancia que los correspondientes de cloro.

Astato *(At = 211)*

El astato, que no existe en la Naturaleza, se obtuvo en el año 1940 mediante bombardeo del bismuto con rayos α. Forma parte de la familia de los halógenos y tiene gran inestabilidad. Se le conoce principalmente como radioelemento natural o como elemento de síntesis y posee notables propiedades radiactivas.

Haluros de no metales. — Los halógenos se combinan entre sí o con otros no metales. La estabilidad de estos compuestos es variable y más bien escasa. Para la nomenclatura, se considera que el halógeno más electronegativo es el que forma el haluro correspondiente. Así los compuestos F_3Br, BrI y Cl_3N se denominan, respectivamente, trifluoruro de yodo, bromuro de yodo y tricloruro de nitrógeno. Las aplicaciones de los haluros de halógenos son muy limitadas.



11. — No metales del segundo grupo

Oxígeno : Estado natural. Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Oxidaciones y reducciones. Reconocimiento y determinación cuantitativa. Aplicaciones. Ozono. *Obtención. Propiedades.* Agua. Agua pura. *Obtención. Propiedades. Composición.* Aguas naturales. *Sustancias contenidas en el agua.* Aplicaciones. Agua potable. Agua pesada. Agua oxigenada o peróxido de hidrógeno. *Obtención. Propiedades.* — **Azufre :** Estado natural. Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Aplicaciones. Anhídrido sulfuroso. *Obtención. Propiedades. Aplicaciones.* Sulfitos. *Obtención, reconocimiento y propiedades.* Anhídrido sulfúrico. *Obtención y propiedades.* Ácido sulfúrico. *Obtención. Propiedades. Aplicaciones.* Sulfatos. Tiosulfatos. Otros ácidos del azufre. Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico. *Obtención. Propiedades.* — **Selenio :** Propiedades. — **Telurio :** Propiedades y aplicaciones.

Pertenecen a este grupo elementos tan importantes como el *oxígeno*, uno de los constituyentes del aire y del agua, y el *azufre*, con numerosos compuestos de gran interés industrial. Se completa la lista con el *selenio* y el *telurio*.

Oxígeno (*O = 16*)

Estado natural. — El oxígeno, uno de los elementos más corrientes en la Naturaleza, entra en la constitución del aire y del agua, así como en la de los silicatos y carbonatos que forman la mayor parte de la corteza terrestre. Casi todas las combinaciones orgánicas contienen también este elemento.

Obtención. — El oxígeno se puede obtener en cantidades pequeñas por uno de los procedimientos que se enumeran a continuación.

Descomponiendo en caliente el clorato potásico. Esta operación se divide en dos fases sucesivas. En la primera se desprende un poco de oxígeno y se forma al mismo tiempo perclorato, que, en una fase posterior, se descompone y libera oxígeno :

$$2ClO_3K \rightarrow ClK + ClO_4K + O_2$$
$$ClO_4K \rightarrow ClK + 2O_2$$

Estas reacciones, al presentar carácter explosivo, requieren, como medida de precaución, que se añada bióxido de manganeso al clorato. La acción catalítica del primero regula la reacción, que se efectúa en una fase :

$$2ClO_3K \rightarrow 2ClK + 3O_2$$

El oxígeno, poco soluble, se recoge en una cuba de agua (*fig.* 8).



Fig. 8. Preparación del oxígeno por el clorato potásico y el bióxido de manganeso.

Descomponiendo, en frío y por medio de agua, la oxilita. Este cuerpo contiene, sobre todo, bióxido de sodio y un poco de sulfato de cobre para impedir la formación de agua oxigenada :

$$Na_2O_2 + H_2O \rightarrow 2NaOH + \frac{1}{2} O_2$$

Como la sosa formada es susceptible de absorber el anhídrido carbónico producido por la respiración, se utiliza la oxilita para regenerar la atmósfera en las minas y en los submarinos.

En la industria, el oxígeno se origina como producto secundario en la fabricación del nitrógeno y del hidrógeno y se extrae *del aire o del agua.*

Por el *método de Linde* se efectúa la licuación del aire y se procede a la destilación fraccionada de éste para lograr así separar el oxígeno líquido (− 183 °C) del nitrógeno gaseoso (que se licúa a − 195 °C).

También se puede aislar el oxígeno, lo mismo que el hidrógeno, *por vía electrolítica.*

Propiedades. — *Físicas.* — El oxígeno, gas incoloro inodoro e insípido que se disuelve muy poco en el agua, es un poco más denso que el aire (D = 1,105), se licúa muy difícilmente, hierve a la presión atmosférica a −183 °C y se solidifica a −218,5 °C.

Químicas. — El oxígeno se combina, desprendiendo calor, con gran número de elementos. Estas reacciones, llamadas *combustiones*, se pueden producir a temperaturas elevadas, ser rápidas e ir acompañadas por emisión de luz (combustiones vivas) o tener lugar en frío y a velocidad reducida (combustiones lentas). En una atmósfera de oxígeno, o de aire, el hidrógeno arde y todos los metales, excepto el oro y el platino, son atacados por el oxígeno a diferentes temperaturas en reacciones que originan los *óxidos*. El cobre y el hierro sufren combustiones lentas cuando están expuestos al aire, pero el vapor de agua y el anhídrido carbónico de la atmósfera intervienen en las reacciones y en estos casos se forman cardenillo y orín.

Todos los no metales se combinan con el oxígeno. El azufre, el fósforo, el carbono, el silicio y el boro arden con incandescencia, dando los anhídridos SO_2, P_2O_5, CO_2, SiO_2 y B_2O_3, con desprendimientos crecientes de calor. El carbono y el fósforo tienen también una combustión lenta, la última de las cuales va acompañada de fosforescencia y origina el anhídrido fosforoso (P_2O_3). Las combinaciones formadas por elementos combustibles arden a una temperatura determinada.

El oxígeno en la respiración, combustión lenta, es transportado por la sangre hasta las células, destruye ciertas sustancias orgánicas y produce anhídrido carbónico y agua que se incorporan a la atmósfera.

Oxidaciones y reducciones. — La *oxidación* de un cuerpo consiste en la fijación de oxígeno en él, y la *reducción* es el fenómeno inverso, o sea, la pérdida de oxígeno. Los principales *agentes oxidantes* son el oxígeno, el ozono, el agua oxigenada, los óxidos o peróxidos poco estables (CuO, MnO_2), los ácidos o sus sales (ClO_3K, NO_3H), los halógenos en presencia de agua, las sales que se derivan de los peróxidos metálicos (MnO_4K, $Cr_2O_7K_2$) y las sales de los metales nobles como la plata y el oro (NO_3Ag, Cl_3Au).

Los principales *reductores* son los no metales y metales oxidables (H, C, Al), los óxidos suboxigenados y sus sales (CO, SO_2, arsenitos), las sales cuyo nombre se termina con el sufijo *-oso* (sales ferrosas, cuprosas, mercuriosas, etc.).

Reconocimiento y determinación cuantitativa. — La presencia del oxígeno se reconoce porque reaviva la llama de un pedazo de madera que presenta un punto de ignición, y la existencia de sus vestigios se comprueba por la facultad que éstos tienen de teñir de rojo una solución de sulfito ferroso y pirocatequina. La determinación se efectúa, en frío, por absorción del fósforo blanco o por el ácido pirogálico en presencia de potasa, y, en caliente, por el cobre o el sulfuro de bario (SBa), que se transforma en sulfato (SO_4Ba).

Aplicaciones. — El oxígeno se emplea en los sopletes oxhídrico y oxiacetilénico, en los altos hornos y en terapéutica. Se utiliza también como oxidante en la obtención del ácido nítrico y en la fabricación de los explosivos a base de aire líquido.

Ozono (O_3). — El ozono, formado por los efluvios eléctricos, se encuentra en pequeñas cantidades en la baja atmósfera, pero existe también en las capas más elevadas donde es engendrado por las radiaciones solares ultravioleta.

Obtención. — El ozono se obtiene haciendo pasar una corriente de oxígeno entre las armaduras de un condensador eléctrico, unidas a los polos de una bobina de inducción. El efluvio que se produce a través del oxígeno ozoniza éste parcialmente y se produce así una mezcla que contiene de 5 a 10 % de ozono. El aparato de la figura 9 se utiliza en los laboratorios y se denomina *ozonizador de Berthelot*.

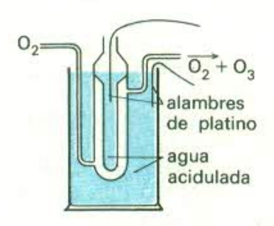


Fig. 9. Ozonizador de Berthelot.

El oxígeno, a temperatura elevada, se transforma parcialmente en ozono de acuerdo con la reacción de equilibrio :

$$3O_2 \rightleftarrows 2O_3 - 60 \text{ kcal}$$

Se ha llegado también a obtener ozono casi puro por destilación fraccionada de mezclas líquidas de oxígeno y ozono.

Se consigue un desprendimiento de ozono, junto al oxígeno, por electrólisis de una disolución acuosa de ácido sulfúrico, utilizando un ánodo de platino.

Propiedades. — FÍSICAS. — El ozono es un gas de color azul pálido y muy oloroso, incluso cuando está muy diluido. En este último estado es refrescante, pero al aumentar su concentración resulta corrosivo. Tiene una densidad $\frac{3}{2}$ mayor que la del oxígeno, por lo que se le atribuye la fórmula O_3.

El ozono gaseoso, si se enfría, da un líquido azul negruzco, muy inestable y miscible en proporción limitada con el oxígeno líquido. Forma cristales de color violeta negruzco cuando se aumenta el frío.

QUÍMICAS. — El ozono es inestable a la temperatura ordinaria, se descompone cuando se calienta ligeramente y desaparece en presencia de cuerpos pulverulentos (polvo de las ciudades), convirtiéndose en oxígeno.

Es un oxidante muy enérgico y una de sus moléculas origina otra de oxígeno inactivo y un átomo activo que se fija en el cuerpo oxidable :

$$O_3 \rightarrow O_2 + O \text{ activo}$$

Provoca, en frío, la oxidación de numerosos metales (mercurio, plata), del yodo, que se transforma en anhídrido yódico, y del anhídrido arsenioso (ozonometría). Oxida también el yoduro potásico :

$$2IK + O_3 + H_2O \rightarrow I_2 + 2KOH + O_2$$

El yodo así liberado colorea de azul el almidón, por lo que esta reacción sirve para reconocer el ozono. Como éste, además, destruye por oxidación numerosas sustancias orgánicas y manifiesta un gran poder decolorante y bactericida, se utiliza para esterilizar las aguas y purificar el aire.

Da también, con los cuerpos orgánicos no saturados, compuestos de adición poco estables, llamados *ozónidos*. Estas combinaciones forman líquidos espesos, fácilmente explosivos.

Agua (H_2O). — El agua, cuerpo compuesto que resulta de la combinación de dos volúmenes de hidrógeno con uno de oxígeno, se consideró como un elemento durante mucho tiempo, hasta que Lavoisier, en el siglo XVIII, consiguió analizarla mediante la acción de un hierro al rojo. Se encuentra abundantemente en la Naturaleza, pero nunca en estado puro, sino con gases y sales minerales en disolución. Estudiaremos en primer lugar el *agua pura* y, posteriormente, las *aguas naturales*, de tanta importancia para la vida, el *agua potable*, el *agua pesada* y el *agua oxigenada*.

Agua pura. — *Obtención* — El agua pura se obtiene por destilación, es decir, por evaporación y condensación inmediata de las aguas naturales. Se utiliza para ello unos aparatos llamados *alambiques* (*fig.* 10).

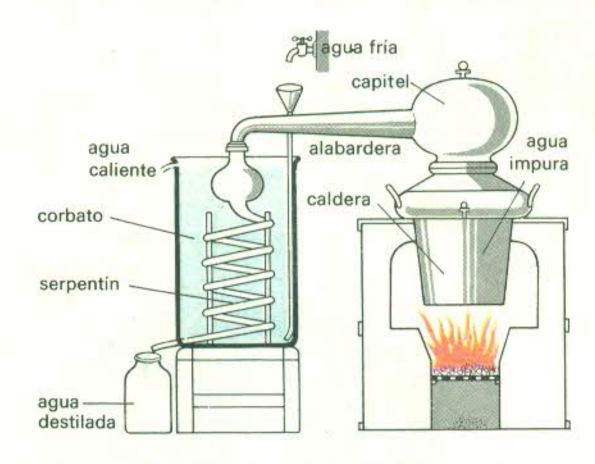


Fig. 10. El agua se purifica por destilación mediante un aparato llamado alambique.

Se puede conseguir actualmente agua pura filtrando la natural a través de un complejo sintético formado por las resinas llamadas Wolfatit K, M, P, que, sucesivamente, retienen los cationes y los aniones y neutralizan el producto resultante.

Propiedades. — FÍSICAS. — El agua adopta fácilmente los estados sólido, líquido y gaseoso. Las temperaturas de los cambios de estado sirven para fijar la escala termométrica centesimal. Así, se atribuye el valor 0 °C a la temperatura a la que el agua se solidifica convirtiéndose en hielo y el valor 100 °C a aquella en la que tiene lugar la ebullición en las condiciones normales de presión (760 mm de mercurio).

El agua líquida, incolora en poca cantidad, presenta diversas anomalías físicas. Tiene una densidad máxima a 4 °C y este fenómeno se explica suponiendo que está constituida por una mezcla de diversas especies químicas, tales como H_2O, $(H_2O)_2$, $(H_2O)_3$, etc. Esta densidad de 4 °C, convencionalmente igual a 1, sirve como base para calcular la de todos los demás cuerpos. Tiene un calor específico elevado.

Al congelarse, el volumen del agua aumenta 1/11. El hielo ordinario, que cristaliza en el sistema hexagonal, es más ligero que el agua, pero, operando a presiones elevadas, se han descubierto nuevas variedades de hielo más densas que ésta.

Es el disolvente por excelencia para todos los gases así como para numerosos sólidos y líquidos. Los ácidos, bases y sales se disocian electrolíticamente en ella.

QUÍMICAS. — El agua es un compuesto muy estable, aunque se puede disociar en hidrógeno y oxígeno, pero siempre a temperaturas superiores a los 1 100 °C.

El agua pura sufre, en pequeñísima proporción, la disociación electrolítica, las moléculas H_2O se separan en cationes H^+ y en aniones OH^-. Se descompone en contacto con cuerpos que poseen gran afinidad con el hidrógeno o el oxígeno. También lo hace en frío con el flúor, fijándose el hidrógeno originado, y, al rojo o en frío, con el cloro y el bromo en presencia de un cuerpo oxidable. Lo mismo ocurre con la mayor parte de los metales *(hidrólisis)* y se forman iones H^+ y OH^-, como en el caso de los nitruros y de los carburos metálicos, los cloruros de ácido y los ésteres. Cabe recordar, por ejemplo, la preparación del acetileno a partir del carburo cálcico :

$$C_2Ca + 2\,HOH \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

Numerosos cuerpos, simples o compuestos, tienen la propiedad de fijar el agua para dar combinaciones.

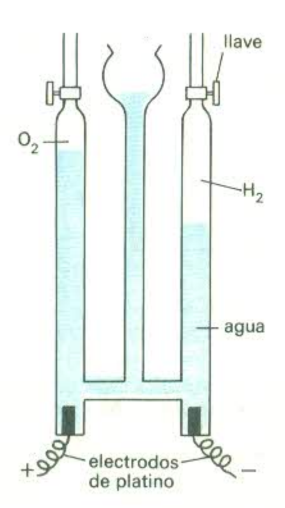


Fig. 11. Análisis del agua en el voltámetro.

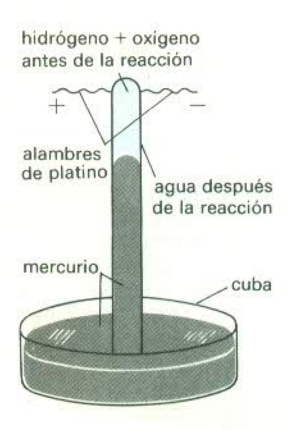


Fig. 12. Síntesis del agua en el eudiómetro.

Composición. — Es muy importante conocer la composición exacta del agua. Se efectúa el análisis o descomposición de ésta por electrólisis valiéndose de un *voltámetro,* constituido por un recipiente cuyo fondo lo atraviesan dos electrodos de platino (*fig.* 11). Sobre cada uno de éstos se coloca una probeta invertida y graduada, llena de una disolución acuosa que contiene una pequeña cantidad de ácido sulfúrico. La descomposición se produce al pasar la corriente eléctrica y se desprende hidrógeno en la probeta del cátodo y oxígeno en la del ánodo. Se comprueba fácilmente que el volumen del hidrógeno producido es dos veces mayor que el del oxígeno que se encuentra en la otra probeta.

La síntesis del agua se realiza con el aparato llamado *eudiómetro* (*fig.* 12), tubo graduado e invertido en el que se introducen hidrógeno y oxígeno sobre mercurio; la parte cerrada del tubo está atravesada por dos alambres de platino situados, sin tocarse, uno enfrente del otro; al establecer la corriente, salta la chispa entre ellos, la mezcla gaseosa estalla y se produce agua. Si se mantiene la temperatura por encima de 100 °C, el agua permanece en estado de vapor y tiene un volumen equivalente a los dos tercios de la mezcla primitiva. De todo esto se deduce que dos volúmenes de hidrógeno combinados con un volumen de oxígeno dan un volumen de agua.

Aguas naturales. — Las aguas naturales difieren del agua pura por contener diversas materias en solución y en suspensión. Las de lluvia poseen como impurezas algunos gases disueltos y las de los manantiales y pozos, que han atravesado el suelo, algunas sustancias minerales y orgánicas, además de gases.

Sustancias contenidas en el agua. — Los gases disueltos en el agua, que se pueden observar mediante la ebullición, equivalen aproximadamente a dos volúmenes de nitrógeno por uno de oxígeno, más algo de anhídrido carbónico.

Las sales disueltas en el agua se obtienen por evaporación y su naturaleza depende de los terrenos atravesados. Entre las más importantes se encuentran los *cloruros,* que dan con el NO_3Ag un precipitado blanco de ClAg, *sulfatos,* que dan con el Cl_2Ba un precipitado abundante de SO_4Ba, de color blanco, *sales de calcio, anhídrido carbónico, nitratos, nitritos* y *sales de magnesio.* Se encuentran también en el residuo obtenido por evaporación *materia orgánica,* procedente de la capa de tierra vegetal, y numerosos *microbios,* cuya presencia se descubre por la observación efectuada con el microscopio.

Aplicaciones. — Las aplicaciones del agua, de gran utilidad en la vida doméstica, la agricultura y la industria, son innumerables.

Agua potable. — El agua potable debe ser fresca, límpida, incolora e inodora, contener gases disueltos y cierta cantidad de sales que le comuniquen un ligero sabor. Debe esterilizarse para destruir los microbios existentes, mediante una filtración que retiene la mayor parte de éstos. Si algunos subsisten se eliminan por un procedimiento químico (cloro, ozono) o por los rayos ultravioleta.

Las aguas *duras*, que tienen una proporción excesiva de sales de calcio o de magnesio, se tratan por filtración a través de unas *ceolitas*, cuerpos naturales *(bentonita)* o artificiales *(permutita)*, que transforman las sales cálcicas o magnésicas en sales sódicas.

Agua pesada (D_2O). — Descubierta en 1932 por el químico norteamericano Harold Clayton UREY, n. en 1893, el agua pesada es un compuesto análogo al agua, en el que el hidrógeno (H = 1) es reemplazado por su isótopo pesado o deuterio. Existe en proporción muy pequeña en el agua ordinaria $\left(\frac{1}{5000}\right)$. Es un líquido incoloro análogo al agua, de densidad 1,105, de donde se deriva su nombre, que se solidifica a – 3,8 °C y hierve a 101,4 °C. Alcanza su densidad máxima aproximadamente a 12 °C y tiene un índice de refracción menor que el del agua. Da deuterio por acción del sodio, en frío, o del hierro, al rojo, y se electroliza más lentamente que el agua ordinaria. Se emplea, sobre todo, en las pilas de uranio, como moderador de los neutrones, y en las operaciones de química nuclear, en donde se utilizan los núcleos de deuterio como proyectiles.

Agua oxigenada o peróxido de hidrógeno (H_2O_2). — ***Obtención.*** — El agua oxigenada se obtiene descomponiendo un peróxido por un ácido. En este procedimiento se vierte una suspensión de bióxido de bario en ácido clorhídrico diluido :

$$BaO_2 + 2\,ClH \rightarrow Cl_2Ba + H_2O_2$$

En la industria se utiliza preferentemente un ácido cuya sal de bario sea insoluble (FH, PO_4H_3).

Para las operaciones de blanqueo, se puede provocar la reacción del ácido sulfúrico sobre el peróxido de sodio :

$$Na_2O_2 + SO_4H_2 \rightarrow SO_4Na_2 + H_2O_2$$

Las llamadas *persales*, sales de anhídridos peroxigenados, como el persulfato (SO_4K) o el perborato (BO_3Na), se descomponen al entrar en contacto con el agua y dan agua oxigenada :

$$BO_3Na + H_2O \rightarrow BO_2Na + H_2O_2$$

Existen productos constituidos por una mezcla de jabón y persal que se utilizan para blanquear la ropa.

Propiedades. — FÍSICAS. — El peróxido de hidrógeno puro es un líquido incoloro, muy viscoso, de sabor metálico y de densidad 1,46. Tiene reacción débilmente ácida y, al enfriarse, se solidifica en forma de agujas. Es soluble en agua en todas proporciones y las soluciones así obtenidas se llaman *agua oxigenada*.

Se expende en el comercio la solución al 2 ó 3 %, llamada de 10 ó 12 volúmenes, así como otras soluciones más concentradas de 110 a 200 volúmenes, muy cáusticas, a las que se da el nombre de *perhidrol*.

QUÍMICAS. — El agua oxigenada, por diferentes causas, se descompone en agua y oxígeno y desprende calor :

$$H_2O_2 \longrightarrow H_2O + \frac{1}{2}\,O_2$$

Los cuerpos pulverulentos (carbón en polvo, bióxido de manganeso) destruyen el agua oxigenada y ésta se descompone al entrar en contacto con ciertos cuerpos oxidantes, que, a su vez, hacen lo mismo. Así, cinco moléculas de peróxido de hidrógeno quedan destruidas por dos moléculas de permanganato potásico acidulado :

$$2\,MnO_4K + 3\,SO_4H_2 + 5\,H_2O_2 \rightarrow 2\,SO_4Mn + SO_4K_2 + 8\,H_2O + 5\,O_2$$

Esta reacción permite la determinación cuantitativa del peróxido de hidrógeno.

El agua oxigenada es un oxidante enérgico, capaz de transformar el ácido sulfuroso en ácido sulfúrico, las sales ferrosas en férricas, el yoduro potásico en yodo, etc. Este carácter determina sus propiedades decolorantes y explica la utilización que se hace de ella, en vez del cloro, para blanquear la lana, la seda, las plumas, el marfil y el pelo, por ser menos corrosiva. Se emplea asimismo como antiséptico, en Medicina, y como agente oxidante, en el laboratorio.

Azufre *(S = 32,066)*

Estado natural. — El azufre, que se conoce desde las épocas más remotas, aparece en estado libre en los Estados Unidos, Italia, España, Japón, Finlandia y México. Se atribuye su formación a la reacción :

$$2\,SH_2 + SO_2 \rightarrow 3\,S + 2\,H_2O$$

en la que el SH_2 y el SO_2 proceden de la descomposición de los sulfatos. Existe asimismo combinado en forma de sulfuros o de sulfuro de hidrógeno como la pirita (S_2Fe), la calcopirita (S_2FeCu), la galena (SPb) y la blenda (SZn). También puede presentarse en forma de sulfatos.

Obtención. — El azufre se obtiene de diversos modos : por tostación de piritas, extracción, etc.

En la tostación de piritas, que ha de verificarse en recipiente cerrado, resulta :

$$3\,S_2 \rightarrow S_4Fe_3 + S_2$$

En Sicilia, donde el mineral es rico y el combustible escaso, para efectuar la extracción se separa por fusión el azufre de la ganga terrosa que tiene. Se hacen unos montículos con él y posteriormente se inflaman (*calcaroni*, *fig.* 13). Parte del azufre se quema y el calor suministrado por esta combustión origina la fusión del resto de la masa, que fluye en estado líquido. Al quemarse, el azufre da anhídrido sulfuroso, que destruye los cultivos de las zonas inmediatas, por lo que este método de explotación se puede utilizar sólo en invierno.

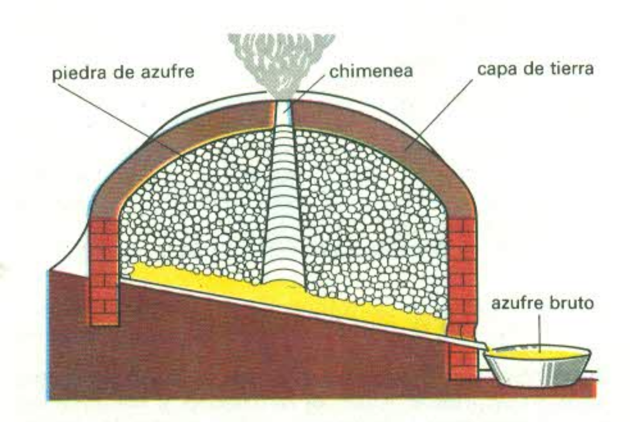


Fig. 13. Calcaroni : extracción del azufre por fusión.

En Luisiana (Estados Unidos) se utiliza vapor de agua sobrecalentado, que se envía a presión por tubos que atraviesan la capa del mineral. El azufre, después de haberse fundido por efecto del calor, es impulsado por medio de aire comprimido hasta la superficie por tubos de diámetro inferior a los anteriores y se recoge en unos recipientes, donde se solidifica lentamente.

Actualmente se obtienen grandes cantidades de azufre mediante la recuperación de productos secundarios de varias industrias. Así, la desulfuración de los gases naturales liberados en las explotaciones del petróleo separa el SH_2, quemado a continuación en una atmósfera que contiene poco oxígeno :

$$2SH_2 + O_2 \rightarrow 2S + 2H_2O$$

El azufre bruto obtenido por todos estos métodos se purifica por destilación.

Propiedades. — *Físicas.* — El azufre, metaloide sólido de color amarillo pálido que se presenta tanto en estado amorfo como cristalizado, conduce mal el calor y la electricidad, desprende un olor característico, es insoluble en agua y soluble en los disolventes orgánicos, especialmente en sulfuro de carbono, y tiene una densidad aproximada de 2. Funde hacia 119 ºC, dando un líquido azul claro que, si sigue calentándose, se oscurece y llega a ser viscoso, hasta el punto de que se puede invertir el recipiente sin que por ello se derrame. Si se eleva todavía más la temperatura, se funde de nuevo, pero sigue conservando aún el color oscuro. Finalmente hierve a 445 ºC.

Los vapores de azufre son de color rojizo y la densidad disminuye a medida que va aumentando la temperatura : a 500 ºC la molécula es S_6, mientras que a partir de 800 ºC es S_2.

Se puede provocar la cristalización del azufre por evaporación de su solución en el sulfuro de carbono para obtener cristales octaédricos (azufre α), estables hasta 95 ºC, y por enfriamiento, cuando está fundido. En este último caso se forman unas agujas finas prismáticas (azufre β), variedad alotrópica estable solamente por encima de 95 ºC. El azufre existe también en estado amorfo si se destila cristalizado y se condensan los vapores en un matraz grande, constituyéndose entonces las llamadas *flores de azufre*, o al acidular una solución acuosa de sulfuro amónico.

Si se vierte azufre fundido en agua fría, se forma el llamado *azufre plástico* (*fig.* 14), sólido elástico de color oscuro, que se transforma en azufre octaédrico.

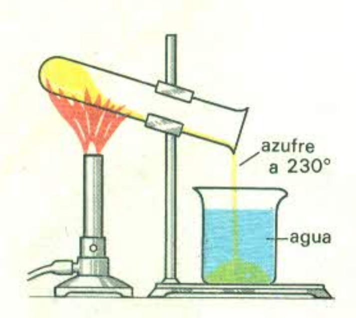


Fig. 14. Azufre plástico.

Químicas. — El azufre se asemeja al oxígeno, por la acción que ejerce sobre el hidrógeno y los metales, pero su compuesto hidrogenado (SH_2) es mucho menos estable que el agua y además puede combinarse con el oxígeno. El vapor de azufre a 450 ºC se mezcla con el hidrógeno dando, por una reacción limitada, sulfuro de hidrógeno (SH_2), y todos los metales, excepto el oro y el platino, arden en esa atmósfera. Calentando unas limaduras de hierro con flor de azufre, se obtiene el sulfuro artificial SFe. El vapor de azufre se combina con el carbono al rojo y esta reacción sirve para preparar el sulfuro de carbono (SC_2). Los halógenos, en general, atacan el azufre y, si éste se une con cloro, se obtiene S_2Cl_2, líquido de color amarillo.

El azufre arde en el aire o en el oxígeno con desprendimiento de calor, dando sobre todo anhídrido

Compuestos oxigenados del azufre

VALENCIA	ÓXIDOS	ÁCIDOS
II	SO (monóxido de azufre)	SO_2H_2 (ác. sulfoxílico)
		$S_2O_3H_2$ (ác. sulfoxílico)
III		$S_2O_4H_2$ (ác. hiposulfuroso, o ác. hidrosulfuroso)
IV	SO_2 (anhídrido sulfuroso)	SO_3H_2 (ác. sulfuroso)
		$S_2O_5H_2$ (ác. pirosulfuroso)
V		$S_2O_6H_2$ (ác. hiposulfúrico)
VI	SO_3 (anhídrido sulfúrico)	SO_4H_2 (ác. sulfúrico)
		$S_2O_7H_2$ (ác. pirosulfúrico)
	S_2O_7 (anhíd. persulfúrico)	SO_5H_2 (ác. monopersulfúrico, o ác. de Caro)
		$S_2O_8H_2$ (ác. peroxidisulfúrico, o ác. persulfúrico)
ÁCIDOS POLITIÓNICOS		$S_3O_6H_2$ (ác. tritiónico)
		$S_4O_6H_2$ (ác. tetratiónico)
		$S_5O_6H_2$ (ác. pentatiónico)
		$S_6O_6H_2$ (ác. exatiónico)

sulfuroso (SO_2). Esta reacción permite explicar sus propiedades reductoras ya que reduce en caliente el ácido sulfúrico, el ácido nítrico y sus sales. La *pólvora negra* es una mezcla de nitrato potásico (NO_3K), azufre y carbón en polvo. Este metaloide reacciona al rojo con el vapor de agua para constituir anhídrido sulfuroso y sulfuro de hidrógeno, y, por contacto con los álcalis en ebullición, se obtienen un sulfuro y un tiosulfato.

Es tóxico, especialmente para los organismos inferiores.

Aplicaciones. — El azufre se utiliza para tratar el oídio, enfermedad de la vid, protege el caucho, al entrar en una proporción del 5 por ciento en la vulcanización, y se agrega en un treinta por ciento a éste para formar la ebonita. Se emplea asimismo en la fabricación de cerillas, de la pólvora negra y de diversos productos farmacéuticos. Sirve también para preparar el anhídrido sulfuroso, el sulfuro de carbono, los tiosulfatos, etc.

El azufre, como puede observarse en el cuadro anterior, forma combinaciones oxigenadas con diversos grados de valencia. Los únicos ácidos puros son el sulfúrico, el monopersulfúrico y el peroxidisulfúrico. Los demás se derivan de sus sales.

Anhídrido sulfuroso (SO_2). — El anhídrido sulfuroso es el principal constituyente de las fumarolas de los volcanes. Existe en los gases producidos por la combustión del carbón, que contiene siempre un poco de azufre, y generalmente también en la atmósfera de las grandes ciudades.

Obtención. — EN LA INDUSTRIA. Al quemar azufre

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

se obtiene anhídrido sulfuroso, exento de arsénico. Pero, con este procedimiento, el precio de coste resulta elevado, porque la combustión tiene lugar en hornos especiales, constituidos por una cámara de caldeo del aire, una cuba de azufre y una cámara de combustión. El aire caliente se dirige a la superficie del azufre en fusión y, de este modo, la utilización del oxígeno es completa. Por los tubos de evacuación sale una mezcla de anhídrido sulfuroso y nitrógeno.

También se puede obtener por tostación de un sulfuro metálico, generalmente la pirita de hierro (S_2Fe) o la blenda (SZn) :

$$2S_2Fe + \frac{11}{2} O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + 4SO_2$$

Dicha reacción es suficientemente exotérmica para que, una vez que se provoque la combustión en un punto, ésta se extienda a toda la masa. Se envía aire sobre la pirita que se encuentra en los pisos de un horno metálico (*fig.* 15), formado por una parte fija, especie de cilindro vertical revestido interiormente con ladrillos refractarios, en la que existen siete u ocho soleras circulares de tierra refractaria, barridas por una serie de rastrillos montados en un árbol vertical hueco, animado de movimiento rotatorio, que se halla en el centro del sistema. La pirita, colocada primero por una tolva en la solera superior, se dirige al centro y, más tarde, cae al piso inferior, donde, yendo del centro a la periferia, va a alimentar la solera siguiente. La combustión es regular, el encendido comienza en la solera superior, y la admisión del aire que sube en el horno se ajusta mediante un registro. El árbol central y los brazos se refrigeran por una corriente de aire o de agua.

Cuando se trata de cantidades muy importantes (50 toneladas y más), se instalan hornos rotatorios análogos a los empleados en la industria del cemento.

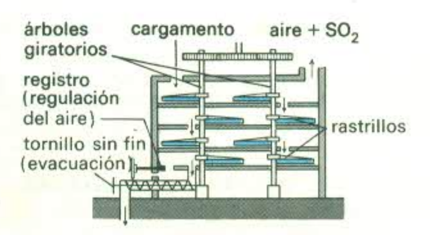


Fig. 15. Horno metálico de tipo Harris para producir anhídrido sulfuroso.

El anhídrido sulfuroso se licúa por compresión y se envasa en sifones de vidrio.

EN EL LABORATORIO. — Cuando se requieren cantidades pequeñas de este gas, se reduce el ácido sulfúrico en caliente con carbón o cobre, de acuerdo con las reacciones :

$$2SO_4H_2 + C \rightarrow CO_2 + 2SO_2 + 2H_2O$$
$$2SO_4H_2 + Cu \rightarrow SO_2 + SO_4Cu + 2H_2O$$

Se puede tratar también el sulfito ácido de sodio (SO_3HNa) por el ácido sulfúrico.

Propiedades. — FÍSICAS. — El anhídrido sulfuroso, gas incoloro y de olor picante, se puede licuar por simple compresión a tres atmósferas, dando un líquido incoloro que no conduce la corriente eléctrica, y, si se verifica un enfriamiento ulterior, se forman cristales de color blanco. Se disuelve muy bien en el agua (70 volúmenes en condiciones normales) en estado gaseoso y, en estado líquido, disuelve ciertas sustancias, como las sales inorgánicas, produciendo en este caso una solución conductora de la electricidad.

QUÍMICAS. — El anhídrido sulfuroso es un cuerpo estable y se disocia solamente a temperaturas elevadas :

$$3SO_2 \rightarrow 2SO_3 + S$$

Los cuerpos muy ávidos de oxígeno lo reducen de modo que, con el hidrógeno en caliente, se verifica la reacción :

$$SO_2 + 2H_2 \rightarrow 2H_2O + S$$

El hidrógeno naciente lo transforma en sulfuro de hidrógeno.

El azufre, que puede tener la valencia VI, se conduce como un *radical divalente y* fija dos átomos de cloro para dar cloruro de sulfurilo (SO_2Cl_2), líquido incoloro, fumante y de olor picante. En presencia de catalizadores como la esponja de platino, se combina con el oxígeno y da anhídrido sulfúrico. La industria utiliza esta reacción en el procedimiento de contacto para la preparación del ácido sulfúrico al oxidarse la solución con el aire :

$$SO_2 + \frac{1}{2} O_2 + H_2O \longrightarrow SO_4H_2$$

Estas últimas propiedades explican el importante carácter reductor del anhídrido y sobre todo de su solución. El anhídrido sulfuroso posee, por tanto, un poder decolorante considerable y se utiliza para quitar las manchas de fruta o de vino en la ropa blanca.

Aplicaciones. — El anhídrido sulfuroso sirve esencialmente para la fabricación del ácido sulfúrico y se utiliza en menor cantidad para la de sulfitos y tiosulfatos. Se emplea asimismo en el blanqueo de la lana, la extinción de incendios, la producción de frío, la preparación de hielo y en las industrias azucarera, del curtido y de la vinificación.

Sulfitos. — El ácido sulfuroso es dibásico y, por tanto, da lugar a dos tipos de sales : *sulfitos neutros*, en los que los dos hidrógenos se hallan sustituidos por un metal, y *sulfitos ácidos* o *bisulfitos*, en los que sólo se sustituye un hidrógeno.

Obtención, reconocimiento y propiedades. — Los sulfitos solubles se pueden obtener haciendo pasar una corriente de anhídrido sulfuroso por las soluciones correspondientes de carbonatos :

$$SO_2 + CO_3Na_2 \rightarrow SO_3Na_2 + CO_2$$

Los sulfitos insolubles se obtienen por precipitación :

$$SO_3Na_2 + Cl_2Zn \rightarrow SO_3Zn + 2ClNa$$

Los sulfitos se reconocen porque dan con el cloruro de bario un precipitado blanco de sulfito de bario, que se disuelve en el ácido nítrico diluido :

$$SO_3Na_2 + Cl_2Ba \rightarrow SO_3Ba + 2ClNa$$

Los sulfitos neutros alcalinos se disuelven bien en el agua y su solución presenta carácter básico a causa de la hidrólisis que se efectúa. Los demás sulfitos son menos solubles y presentan reacción neutra.

Anhídrido sulfúrico (SO_3). — *Obtención y propiedades.* — Desde el punto de vista industrial, el anhídrido sulfúrico se prepara exclusivamente para su ulterior transformación en *óleum* o ácido sulfúrico fumante. La destilación de éste, que, al principio, libera anhídrido sulfúrico puro, se utiliza en el laboratorio. Se puede también descomponer un pirosulfato por el calor :

$$S_2O_7Na_2 \rightarrow SO_3 + SO_4Na_2$$

El anhídrido sulfúrico se presenta corrientemente en estado sólido o líquido; en el primero cristaliza en agujas muy finas y en el segundo hierve fácilmente. Se disocia, por el calor, en anhídrido sulfuroso y oxígeno. Presenta asimismo gran avidez por el agua, con la que se combina dando ácido sulfúrico, reacción en la que se desprende gran cantidad de calor.

Además de emplearse para la obtención del ácido sulfúrico, se utiliza mucho también en los laboratorios como deshidratante.

Ácido sulfúrico (SO_4H_2). — El ácido sulfúrico, producto industrial de importancia fundamental, tiene aplicaciones muy numerosas y el consumo que se hace del mismo es considerable. Se conoce, desde el siglo XIII, con el nombre de *aceite de vitriolo*, aunque la fabricación industrial sólo se inició a mediados del siglo XVIII.

Obtención. — Generalmente se preparan los *ácidos fumantes* por el procedimiento de contacto, y el ácido ordinario se obtiene por el procedimiento de las *cámaras de plomo*. En ambos casos, la fabricación comprende en primer lugar la preparación del anhídrido sulfuroso, seguida de su oxidación e hidratación.

MÉTODO DE CONTACTO. — Consiste este método, que tiene un rendimiento máximo, en fabricar anhídrido sulfúrico (SO_3) a partir de SO_2 por la reacción :

$$2SO_2 + O_2 \rightleftarrows 2SO_3$$

Al ser exotérmica, esta reacción debe realizarse a temperatura poco elevada; la velocidad de reacción es, por tanto, muy pequeña y se tiene que emplear un catalizador.

Los gases que salen del horno de piritas (*fig.* 16) se purifican y deshidratan por lavado con ácido sulfúrico. Debe señalarse que el anhídrido arsenioso y el agua envenenan el catalizador y paralizan toda su actividad. Generalmente, la catálisis ocurre en dos tiempos : el

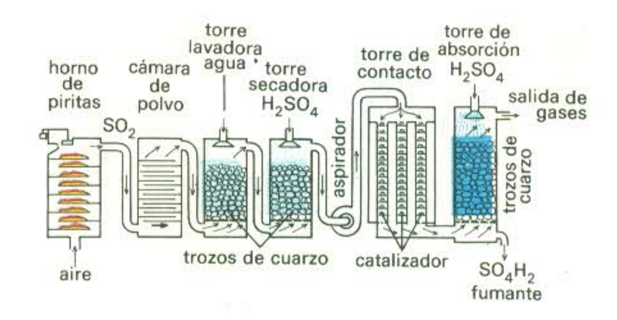


Fig. 16. Fabricación del ácido sulfúrico por el método de contacto.

óxido férrico (Fe_2O_3) comienza la reacción hacia 550 °C y el amianto platinado la prosigue hacia 450 °C. El primer catalizador detiene las últimas impurezas y el segundo eleva el rendimiento de la reacción hasta más del 95 por ciento.

Los vapores de anhídrido sulfúrico producidos se recogen en forma de ácido sulfúrico concentrado y dan ácidos fumantes u *óleums*, mezclas ricas de anhídrido sulfúrico y agua.

MÉTODO DE LAS CÁMARAS DE PLOMO. — En este método se efectúa la reacción :

$$SO_2 + \frac{1}{2} O_2 + H_2O \longrightarrow SO_4H_2$$

catalizándola por los óxidos del nitrógeno. Existen diversas teorías sobre esta acción catalítica, la más simple de ellas lleva consigo, de forma alternativa, las reacciones siguientes :

$$SO_2 + NO_2 + H_2O \longrightarrow SO_4H_2 + NO$$

$$NO + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow NO_2$$

En otras interviene un compuesto intermedio, el sulfato ácido de nitrosilo (SO_4HNO), que parece formarse al reaccionar el anhídrido sulfuroso con el ácido nítrico :

$$SO_2 + NO_3H \rightarrow SO_4HNO$$

y que, según esta teoría, se descompone por contacto con el vapor de agua :

$$SO_4HNO + H_2O \rightarrow SO_4H_2 + NO_3H$$

dando finalmente ácido sulfúrico.

Independientemente del horno de piritas, en el que se forma la mezcla gaseosa $SO_2 + \frac{1}{2} O_2$, las instalaciones para este procedimiento constan de la torre de *Glover*, las *cámaras de plomo* y la torre de *Gay-Lussac* (*fig.* 17).

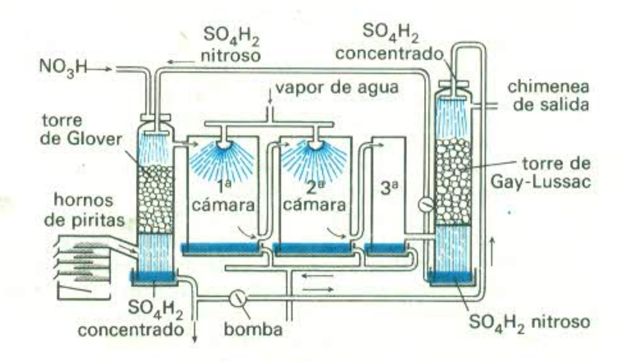


Fig. 17. Método de las cámaras de plomo.

En la torre de Glover, el anhídrido sulfuroso (SO_2) se pone en contacto con el ácido nítrico y con el ácido sulfúrico concentrado, que contiene diversos productos nitrosos procedentes de la torre de Gay-Lussac. De esto resulta una primera formación y una concentración de ácido, que se recoge en el fondo a 60º Baumé, un enfriamiento de los gases procedentes del horno de tostación de las piritas y la vuelta al ciclo de las reacciones de los productos nitrosos.

Estos gases pasan después a las cámaras de plomo, de tres a seis grandes campanas de plomo soldadas e invertidas sobre unas cubas del mismo metal, en las que se inyecta por la parte superior vapor de agua. El ácido sulfúrico formado se deposita en el fondo y los gases evacuados, que contienen solamente nitrógeno, oxígeno y productos nitrosos, van a parar a la torre de Gay-Lussac, donde, lavados por ácido sulfúrico concentrado de la torre de Glover, se desprenden de los productos nitrosos. El líquido que se recoge en el fondo se envía a esta torre de Glover, donde se le añade una pequeña cantidad de ácido nítrico que compensa las pérdidas de óxidos de nitrógeno ocurridas anteriormente.

El ácido sulfúrico del fondo de las cámaras de plomo tiene 52º Baumé, concentración suficiente para la mayor parte de las aplicaciones industriales, y en la torre de Glover llega a los 60º Baumé. Los productos nitrosos van de la torre de Glover a las cámaras y de éstas a la torre de Gay-Lussac y a la de Glover. El ácido así obtenido contiene diversas impurezas, por lo que, en ciertos casos, se le purifica y concentra, haciéndole atravesar una atmósfera de gases calientes en torres análogas a la de Glover.

Propiedades. — FÍSICAS. — El ácido sulfúrico, líquido incoloro, inodoro, denso y de fuerte sabor a vinagre, es muy corrosivo y tiene aspecto oleaginoso, por lo que se le dio el nombre de *aceite de vitriolo* durante mucho tiempo. El utilizado en el comercio lleva siempre algo de agua, con la que se mezcla en todas proporciones de forma violenta, con gran desprendimiento de calor y contracción de volumen, lo cual prueba que al disolverse en ella forma una verdadera combinación.

QUÍMICAS. — El ácido sulfúrico comienza a disociarse a la temperatura de ebullición :

$$SO_4H_2 \rightleftarrows SO_3 + H_2O$$

pero, a temperatura más elevada, el anhídrido sulfúrico se disocia a su vez, dando anhídrido sulfuroso y oxígeno, y actúa como *oxidante.* Es reducido en caliente por el hidrógeno, el azufre, el fósforo, el carbono, numerosos metales y diversos compuestos hidrogenados poco estables.

Es un *ácido fuerte* que posee dos funciones ácido y da con los álcalis dos series de sales, los sulfatos ácidos (SO_4HNa) y los sulfatos neutros (SO_4Na_2). Desplaza de sus sales la mayor parte de los demás ácidos, más volátiles que él. Ataca todos los metales, excepto el oro y el platino. Diluido en frío, reacciona con los más oxidables, desprendiendo hidrógeno :

$$SO_4H_2 + Zn \rightarrow SO_4Zn + H_2 \uparrow$$

Con el cobre, plomo, plata y mercurio reacciona en caliente y se reduce convirtiéndose en anhídrido sulfuroso :

$$2SO_4H_2 + Cu \rightarrow SO_4Cu + SO_2 + 2H_2O$$

Es un *deshidratante enérgico,* que carboniza los hidratos de carbono, como el azúcar, y corroe la piel.

El ácido fumante da, con el benceno y sus derivados, reacciones de sulfonación :

$$C_6H_6 + SO_4H_2 \rightarrow C_6H_5SO_3H + H_2O$$

que se utilizan en la síntesis del fenol y en la fabricación de explosivos, colorantes y plásticos.

Aplicaciones. — El ácido sulfúrico tiene aplicaciones muy numerosas e importantes. Sirve para la preparación de la mayor parte de los ácidos minerales y orgánicos, de los sulfatos de hierro, de cobre y de amonio, empleados en la agricultura, de los superfosfatos y de los alumbres. El ácido diluido con agua se utiliza en la depuración de aceites y benzoles, en la refinación del petróleo, en el decapado de los metales y también en pilas y acumuladores.

Sulfatos. — El ácido sulfúrico es dibásico y produce dos tipos de sales : los *sulfatos neutros,* en los que un metal sustituye los dos H del ácido, y los *sulfatos ácidos* o *bisulfatos,* en los que sólo un hidrógeno es reemplazado. Los sulfatos se encuentran con gran profusión en la Naturaleza (yeso, baritina).

Los sulfatos alcalinos y de otros muchos metales se disuelven bien en el agua, pero los de los metales alcalinotérreos son todos insolubles, excepto el de magnesio. Las soluciones acuosas de los sulfatos alcalinos son neutras, mientras que son ácidas las de los sulfatos de metales pesados y de los bisulfatos.

Tiosulfatos. — Cuando se hierve una disolución de sulfito sódico con azufre libre, éste se disuelve formándose *tiosulfato sódico :*

$$SO_3Na_2 + S \rightarrow S_2O_3Na_2$$

Esta sal se prepara industrialmente haciendo pasar dióxido de azufre a través de una disolución muy caliente de carbonato sódico que contiene azufre libre :

$$CO_3Na_2 + SO_2 + S \rightarrow S_2O_3Na_2 + CO_2\uparrow$$

El tiosulfato sódico cristaliza en forma de pentahidrato ($S_2O_3Na_2 \cdot 5\,H_2O$). Se usa en fotografía para fijar negativos y positivos y en el laboratorio de análisis químicos para la determinación cuantitativa de sustancias oxidantes. Se denomina también impropiamente *hiposulfito.*

Los ácidos fuertes reaccionan con los tiosulfatos, poniendo en libertad ácido tiosulfúrico, que se descompone inmediatamente :

$$S_2O_3Na_2 + 2\,ClH \rightarrow 2\,ClNa + S_2O_3H_2 \rightarrow SO_2 + H_2O + S\downarrow$$

Cuando se calienta tiosulfato sódico cristalizado, éste pierde el agua de hidratación y, si se continúa calentando, se convierte en sulfato sódico y pentasulfuro sódico, en un proceso de autooxidación-reducción :

$$4\,S_2O_3Na_2 \rightarrow 3\,SO_4Na_2 + S_5Na_2$$

Otros ácidos del azufre. — El *ácido pirosulfúrico* ($S_2O_7H_2$) es una sustancia sólida contenida en el ácido sulfúrico fumante u óleum. Se forma al disolver SO_3 en ácido sulfúrico concentrado :

$$SO_4H_2 + SO_3 \rightarrow S_2O_7H_2$$

Las sales de este ácido, conocidas como *pirosulfatos,* se obtienen calentando bisulfatos.

El *ácido hiposulfuroso* o *ácido ditionoso* ($S_2O_4H_2$) no se encuentra libre, pero la *sal sódica* o *hiposulfito sódico* ($S_2O_4Na_2$) se obtiene reduciendo bisulfito sódico y dióxido de azufre con polvo de cinc :

$$2\,SO_3HNa + SO_2 + Zn \rightarrow SO_3Zn + S_2O_4Na_2 + H_2O$$

Los *ácidos politiónicos* ($S_xO_6H_2$), en que x es 2, 3, 4, 5 ó 6, tienen muy poca importancia práctica.

El *ácido persulfúrico* o, mejor, *peroxidisulfúrico* ($S_2O_8H_2$), se obtiene por electrólisis del ácido sulfúrico. Los *persulfatos* o sales de aquél pueden prepararse electrolizando disoluciones de bisulfatos. El ácido persulfúrico y los persulfatos son oxidantes enérgicos.

Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico (SH_2). — Conocido desde la Antigüedad con el nombre de *aire azufrado maloliente*, este gas existe en las fumarolas de los volcanes y en numerosos manantiales sulfurosos. Se desprende, por descomposición de los albuminoides, cuando la materia orgánica entra en putrefacción.

Obtención. — El ácido sulfhídrico se obtiene descomponiendo un sulfuro por un ácido. El sulfuro de hierro artificial reacciona con el ácido clorhídrico o sulfúrico diluidos :

$$SFe + SO_4H_2 \rightarrow SO_4Fe + SH_2$$

El sulfuro de hidrógeno que da contiene algo de hidrógeno resultante de la reacción del ácido sobre el hierro no sulfurado.

Se consigue también puro tratando en caliente el sulfuro de antimonio (S_3Sb_2) por el ácido clorhídrico concentrado.

Propiedades. — FÍSICAS. — El sulfuro de hidrógeno, gas incoloro, tóxico y de olor muy desagradable parecido al de huevos podridos, ataca a la plata, ennegreciéndola, al formar con ella sulfuro de plata (SAg_2) de color negro.

QUÍMICAS. — Este sulfuro o ácido se descompone fácilmente en sus elementos bajo el efecto del calor, por lo que actúa como hidrogenante y como sulfurante. Arde con llama azul, dando vapor de agua y anhídrido sulfuroso, y, en caliente y al contacto con un cuerpo poroso, se puede oxidar convirtiéndose en ácido sulfúrico. Otras propiedades que tiene son las de ser reductor con el ácido nítrico y el ácido sulfúrico concentrado, descomponerse por los halógenos, dar, con las bases, sulfuros neutros y sulfuros ácidos y atacar gran número de metales en frío. Reacciona con muchas sales disueltas para formar, según las reglas de Berthollet, sulfuros insolubles. El color que adopta el precipitado obtenido permite reconocer la naturaleza de la sal en los distintos análisis químicos.

Selenio (*Se = 78,96*)

El selenio es un elemento sólido que presenta muchas variedades alotrópicas, si bien la forma más común es la cristalizada de color gris y aspecto metálico. En la Naturaleza aparece con frecuencia junto al azufre o unido a los metales, con los que forma *seleniuros*. La *zorgita*, seleniuro de cobre y plomo, abunda en la Argentina.

Propiedades. — El selenio, como se ha afirmado anteriormente, se presenta en diversas formas alotrópicas : variedad roja, monoclínica, y variedad gris, hexagonal. Esta última tiene a su vez las formas A y B. La primera conduce mal la corriente eléctrica y la segunda es buena conductora, por lo que se emplea en las células fotoeléctricas y en xerografía. Otra variedad digna de tenerse en cuenta es el selenio rojo amorfo, que se forma mediante reducción del ácido selenioso. Si los seleniuros se tratan por un ácido fuerte, se obtiene seleniuro de hidrógeno (SeH_2), gas incoloro, maloliente y combustible, que se asemeja al sulfuro de hidrógeno.

El selenio arde en una atmósfera de oxígeno dando anhídrido selenioso (SeO_2), sólido blanco cristalizado, a partir del cual se puede obtener, por tratamiento con agua, ácido selenioso (SeO_3H_2), mucho más débil que el ácido sulfuroso y, por oxidación, ácido selénico (SeO_4H_2), cuyas sales, los seleniatos, son isomorfas de los sulfatos. Entre los compuestos del selenio son también de gran interés dos sulfuros (S_2Se y S_3Se), tres seleniuros de fósforo y un seleniuro de carbono (Se_2C).

El selenio tiene diversas aplicaciones, pero merecen mención especial los empleos de este no metal como colorante en cerámica o para teñir el vidrio y también como agente de vulcanización del caucho.

Telurio (*Te = 127,61*)

El telurio, que se encuentra menos frecuentemente que el selenio, se presenta en la Naturaleza en estado nativo combinado con diversos minerales, sobre todo en forma de telururo de plata, oro y plomo. Su extracción se efectúa de manera similar a la del selenio.

Propiedades y aplicaciones. — Se conocen formas alotrópicas, cristalina y amorfa de este elemento. Sus propiedades y las de sus compuestos se asemejan a las del azufre y del selenio. Arde en el aire con llama azulada y se combina fácilmente con los halógenos y numerosos metales con los cuales da telururos. El de hidrógeno (TeH_2) es un gas inestable y de olor desagradable.

El telurio se emplea para producir vidrio azul, pardo y rojo. Si se añade de 0,1 a 0,6 por ciento de telurio al plomo, se protege éste de la corrosión y se aumenta su resistencia a la tracción y su flexibilidad. Da un acabado negro a la plata si se deposita en ella electrolíticamente, y se agrega una capa superficial de este elemento al hierro fundido para endurecer las piezas templadas. También es capaz de conferir al caucho mayor resistencia al calor y a la abrasión, por lo cual puede utilizarse en la vulcanización.

12. — No metales trivalentes del grupo del nitrógeno

Nitrógeno : Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Aplicaciones. Aire atmosférico. *Separación. Determinación cuantitativa. Propiedades.* Gases nobles. *Helio. Neón y argón. Criptón, xenón y radón.* Amoniaco. *Obtención. Propiedades y reconocimiento.* Compuestos metálicos derivados del amoniaco. *Amidas metálicas. Imidas metálicas. Nitruros metálicos. Hidroxilamina. Hidracina. Ácido nitrhídrico o hidrazoico.* Compuestos oxigenados del nitrógeno. *Monóxido de dinitrógeno. Monóxido de nitrógeno. Trióxido de dinitrógeno. Dióxido de nitrógeno. Pentóxido de dinitrógeno.* Ácido nítrico. *Obtención. Propiedades. Aplicaciones.* Nitratos. — **Fósforo :** Obtención y preparación. Propiedades físicas y alotropía. Propiedades químicas. Aplicaciones. Fosfuros de hidrógeno. *Preparación y aplicaciones.* Ácido hipofosforoso. *Hipofosfitos.* Anhídrido fosforoso. Ácido fosforoso. *Fosfitos.* Anhídrido fosfórico. Ácido ortofosfórico. *Fosfatos. Propiedades.* Ácido pirofosfórico. Ácido metafosfórico. Ácidos peroxifosfóricos. *Peroxifosfatos.* Compuestos halogenados del fósforo. *Tricloruro de fósforo. Pentacloruro de fósforo. Oxicloruro de fósforo.* — **Arsénico :** Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Aplicaciones. Compuestos. *Arsenamina. Anhídrido arsenioso. Ácido arsenioso. Anhídrido arsénico. Ácido arsénico.* — **Antimonio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Compuestos. *Estibamina. Anhídrido antimonioso. Ácido antimonioso. Anhídrido antimónico. Ácido antimónico.*

Los no metales trivalentes del grupo del *nitrógeno* son éste mismo, el *fósforo*, el *arsénico* y el *antimonio*.

Dan lugar a combinaciones hidrogenadas análogas, cuyo tipo es el amoniaco y cuya estabilidad disminuye a medida que se pasa del nitrógeno al antimonio.

Nitrógeno (*N = 14,008*)

Obtención. — El nitrógeno se encuentra libre en la atmósfera y existe también combinado en numerosos compuestos minerales y sustancias orgánicas (albuminoides). Puede extraerse por destilación fraccionada del aire líquido, ya que, al evaporarse éste, se libera casi puro, y se obtiene también por combustión del carbono o del hidrógeno en el aire, separando el óxido de carbono, el anhídrido carbónico y el agua que se forman. El nitrógeno suele expenderse comprimido en tubos de acero.

Se consigue asimismo en laboratorio por medio de varios procedimientos. En uno de ellos se saca el oxígeno del aire puro y se tiene así nitrógeno mezclado con los gases raros, mezcla que se conoce con el nombre de *nitrógeno atmosférico*. Para obtener éste se hace pasar una corriente de aire sobre cobre al rojo, que fija el oxígeno; igualmente se puede absorber el oxígeno mediante cobre en frío, en presencia de amoniaco. Valiéndose de otro método se obtiene nitrógeno puro extrayéndolo de una combinación como la del nitrito amónico; como esta sal no se encuentra con facilidad, se obtiene por reacción de un nitrito sobre sal amónica :

$$NO_2K + ClNH_4 \rightarrow NO_2NH_4 + ClK$$

que se descompone por el calor :

$$NO_2NH_4 \rightarrow N_2 + 2H_2O$$

Propiedades. — *Físicas.* — El nitrógeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, un poco más ligero que el aire, difícil de licuar (hierve a − 195 °C) y muy poco soluble en el agua. En estado gaseoso su molécula es diatómica. En estado líquido y sólido es también incoloro.

Químicas. — En frío, el hidrógeno presenta una gran inercia química, mientras que a temperatura elevada es relativamente activo.

En caliente, o por efecto de una chispa eléctrica, se combina con el hidrógeno para dar amoniaco (NH_3); la reacción es limitada por la disociación del amoniaco formado. En la industria se utilizan un catalizador y presiones elevadas para aumentar el rendimiento de esta reacción.

A temperaturas elevadas, el nitrógeno se combina con el oxígeno y da óxido nítrico (NO), cuya formación es endotérmica.

Puede fijarse igualmente sobre el carbono y sus compuestos. Una corriente de nitrógeno que pasa entre los electrodos de carbono del arco eléctrico da lugar a la formación de vestigios de cianógeno (C_2N_2). En presencia de una base o de un carbonato alcalino o alcalinotérreo, se realiza la síntesis de los cianuros :

$$4C + N_2 + CO_3Na_2 \rightarrow 2CNNa + 3CO$$

El nitrógeno se fija igualmente en los carburos :

$$C_2Ba + N_2 \rightarrow (CN)_2Ba$$

Sin embargo, con el carburo cálcico (C_2Ca) no se obtiene el cianuro cálcico, sino la cianamida cálcica, utilizada como abono nitrogenado :

$$C_2Ca + N_2 \rightarrow CN_2Ca + C$$

Este elemento es absorbido por ciertos metales (litio, magnesio, calcio) y se obtienen así los nitruros correspondientes, que se descomponen con el agua y dan amoniaco.

El nitrógeno, uno de los elementos esenciales en la constitución de la materia vegetal y animal, se asimila a través de sus compuestos. Así, las plantas lo captan de los abonos nitrogenados, y los animales, al alimentarse con estos vegetales, lo asimilan y lo eliminan después por la orina, sobre todo en forma de urea, que recogen de nuevo en su mayor parte las plantas. De esta manera el nitrógeno combinado describe un ciclo a través de los organismos vegetales y animales.

Aplicaciones. — El nitrógeno se emplea para la fabricación de amoniaco, ácido nítrico y cianamida. Constituye, por tanto, el producto básico de las industrias de fertilizantes nitrogenados, explosivos nitrados, colorantes y resinas sintéticas.

Aire atmosférico. — Para los antiguos filósofos griegos, el aire era uno de los cuatro elementos fundamentales de la vida. Solamente en el siglo XVII se comprobó que el aire no era un cuerpo simple, aunque su verdadera naturaleza se conoció más tarde.

El aire es una mezcla que, por destilación, puede fraccionarse en gases de propiedades diferentes. Además de oxígeno y nitrógeno, sus constituyentes principales, contiene gases nobles, anhídrido carbónico, vapor de agua y vestigios de otros muchos gases, como hidrógeno, ozono, etc.

El aire puro, o sea, privado de vapor de agua, de gas carbónico y de otras impurezas, contiene, por cada 100 gramos, 75,5 g de nitrógeno, 23,3 g de oxígeno y 1,5 g de argón, y por cada 100 litros, encierra 21 l de oxígeno, 78 l de nitrógeno y un litro de argón.

Separación. — AIRE LÍQUIDO. — El aire, una vez licuado, empieza a hervir hacia − 190 °C. El nitrógeno, por destilación fraccionada, se evapora primero, separándose así del oxígeno. A la presión atmosférica, el oxígeno se licúa a − 183 °C y el nitrógeno a − 195 °C.

Determinación cuantitativa. — DEL VAPOR DE AGUA Y DEL ANHÍDRIDO CARBÓNICO. — Se hace pasar un volumen de aire conocido por dos series de tubos; los primeros, que contienen ácido sulfúrico, retienen el agua y los otros, en los que hay potasa, absorben el anhídrido carbónico. El aumento de masa en cada una de las series de tubos se determina en una balanza.

DEL OXÍGENO. — La determinación cuantitativa del oxígeno del aire se efectúa al combinar este elemento con el fósforo blanco, que lo fija en frío, y con el cobre, que lo absorbe cuando se le calienta al rojo. En ambos casos se pesa el aire utilizado y, después de haber hecho el vacío, el oxígeno fijado.

Propiedades. — FÍSICAS. — En condiciones normales de temperatura y presión, la masa específica del aire es 0,001 293, es decir, 1 cm³ de aire pesa 0,001 293 g. El aire se licúa por enfriamiento, operación que se efectúa a escala industrial. El aire líquido así obtenido se conserva en recipientes de doble, e incluso de triple, pared plateada (*fig.* 18). Entre estas paredes se crea un

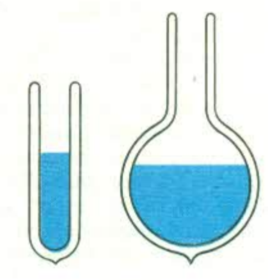


Fig. 18. Recipientes de doble pared para conservar el aire líquido.

vacío casi absoluto. Los recipientes han de dejarse abiertos, ya que en caso contrario el gas producido por volatilización ejercería una presión muy elevada en el interior. El aire, a pesar de esto, se evapora sólo lentamente.

El aire se licúa para producir temperaturas bajas, separar los gases que lo constituyen y fabricar explosivos.

QUÍMICAS. — El aire ordinario es sobre todo activo por el oxígeno, el vapor de agua y el anhídrido carbónico que contiene. La presencia del primero explica sus propiedades comburentes que, naturalmente, son menos vivas que las del oxígeno puro. Gracias a la existencia del vapor de agua y del anhídrido carbónico, el aire tiene otras muchas propiedades, como la hidratación de las sustancias ávidas de agua (anhídridos, óxidos y sales anhidras) y la carbonatación de los álcalis. Muchos metales se alteran por la acción conjugada de sus constituyentes y así el aluminio se oxida, el hierro se transforma en óxido hidratado *(orín)* y el cinc, cobre y plomo se convierten en carbonatos básicos.

Gases nobles. — Los gases nobles, llamados también *raros* o *inertes*, entran, en escasa proporción, en la composición del aire atmosférico. Pertenecen a este grupo el *helio*, *neón*, *argón*, *criptón*, *xenón* y *radón*, que se caracterizan por su inactividad química.

Helio. — El helio (He = 4,003), de densidad muy baja en relación con el aire, hierve a – 268 ºC y tiene el punto de solidificación, en condiciones normales de presión, muy próximo al cero absoluto, es decir, muy difícil de alcanzar, salvo si se le somete a una presión elevada. Se encuentra en la cromosfera, en la Tierra, donde se origina por desintegración de elementos radiactivos, en el aire, en algunos minerales y, sobre todo, en los gases petrolíferos de Texas. Se separa por licuación de los gases con los que se halla mezclado y se utiliza para llenar los globos aerostáticos y los tubos luminiscentes así como para producir temperaturas muy bajas.

Neón y argón. — El neón (Ne = 20,183), el gas noble más volátil, hierve a los – 248 ºC y deja pasar la corriente eléctrica cuando la diferencia de potencial es muy pequeña. Se obtiene por separación de los otros gases y se emplea en los tubos de alumbrado publicitario por la luz anaranjada que irradia.

El argón (A = 39,948), el gas noble más abundante en la atmósfera, es algo más denso que el aire y poco soluble en el agua; hierve a – 186 ºC y está dotado de inercia química y de una conductividad calorífica reducida. Se obtiene por destilación fraccionada del aire líquido y se emplea, puro o mezclado con nitrógeno, para llenar lámparas luminosas dando, según la presión, una coloración roja o azul.

Criptón, xenón y radón. — El criptón (Kr = 83,80) es relativamente denso, conduce mal el calor y hierve a – 151 ºC. Se obtiene por destilación fraccionada del argón bruto. Se utiliza en tubos luminosos y en lámparas de incandescencia.

El xenón (Xe = 131,3) tiene una elevada masa atómica, hierve a – 109 ºC y se obtiene por destilación del argón bruto. Se produce también en la desintegración natural del uranio. Existe en escasa proporción en el aire y tiene las mismas aplicaciones que el criptón.

Por último, el radón (Rn = 222), producto de desintegración del radio, es un gas soluble en diversos compuestos grasos que se aplica principalmente en Medicina para tratar ciertos tumores malignos y heridas rebeldes.

Amoniaco (NH_3). — El amoniaco se encuentra en la descomposición de sustancias nitrogenadas, lo que explica el fuerte olor que se desprende de sitios como letrinas y estercoleros. También se produce industrialmente en la destilación seca de la hulla.

Obtención. — El amoniaco se consigue calentando una sal amónica con cal ($Ca(OH)_2$) :

$$2\,ClNH_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow Cl_2Ca + 2\,H_2O + 2\,NH_3$$

o bien

$$2\,ClNH_4 + CaO \rightarrow Cl_2Ca + 2\,NH_3 + H_2O$$

Se obtiene en forma industrial, como se ha dicho anteriormente, derivándolo de la destilación seca de la hulla y por la unión directa de sus elementos en la llamada *síntesis de Haber*. Ésta consiste (*fig.* 19) en

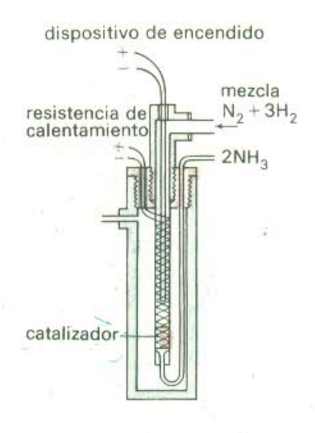


Fig. 19. Tubo con catalizador para preparar amoniaco.

hacer reaccionar el nitrógeno y el hidrógeno, sometidos a gran presión y temperatura (500 ºC y 200 atmósferas), en presencia de catalizadores como los óxidos de hierro y de aluminio :

$$N_2 + 3\,H_2 \rightleftarrows 2\,NH_3$$

El físico francés Georges CLAUDE (1870-1960) ha llevado hasta un 40 por ciento el rendimiento del método de Haber, que era de un 15 por ciento, con sólo aumentar la presión hasta 1 000 atmósferas y sustituyendo el catalizador por una mezcla de Ni y Fe, con pequeñas cantidades de Cr, Mn, W y C.

La presión elevada aumenta el rendimiento en este equilibrio, ya que, en virtud del principio enunciado por el químico Henry LE CHATELIER (1850-1936), también francés, la reacción se desplaza en el sentido en que haya disminuido el volumen. Así, cuatro volúmenes de los cuerpos reaccionantes producen dos volúmenes de amoniaco.

El amoniaco puede obtenerse también por hidrólisis de la cianamida cálcica :

$$CN_2Ca + 3\,H_2O \rightarrow CO_3Ca + 2\,NH_3\uparrow$$

En esta reacción se funda el empleo de la cianamida como abono nitrogenado.

Propiedades y reconocimiento. — El amoniaco es un gas incoloro, de olor picante, que irrita los ojos. Se licúa fácilmente (a 10 ºC bastan 6 atmósferas), por lo que se emplea en industrias frigoríficas, y es muy soluble en el agua (a 0 ºC se disuelven 1 140 volúmenes de amoniaco en uno de agua). Disuelto en agua tiene carácter básico y, por tanto, azulea el tornasol y enrojece la disolución

incolora de fenolftaleína. Ese carácter básico se debe a la formación de hidróxido amónico :

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4OH$$

El amoniaco seco tiene carácter neutro. En presencia de catalizadores se oxida, transformándose en ácido nítrico :

$$NH_3 + 2O_2 \rightarrow NO_3H + H_2O$$

El amoniaco con el ácido clorhídrico forma humos blancos de cloruro amónico. También se puede conocer la existencia de amoniaco si lo examinado da una coloración pardo amarillenta con el reactivo Nessler, obtenido disolviendo yoduro mercúrico en yoduro potásico y alcalinizando la solución. Cuando la cantidad de amoniaco es mayor, se obtiene precipitado del mismo color.

Compuestos metálicos derivados del amoniaco. — Los diferentes compuestos metálicos se exponen a continuación.

Amidas metálicas. — Si se hace pasar una corriente de amoniaco sobre sodio calentado a 300 ºC, se forma la amida sódica :

$$2NH_3 + 2Na \rightarrow 2NH_2Na + H_2$$

Se trata de un cuerpo blanco, de aspecto cristalino, que, calentado con carbón, permite obtener cianuro sódico en dos fases :

$$2NH_2Na + C \rightarrow NNa_2CN + 2H_2$$
$$NNa_2CN + C \rightarrow 2CNNa$$

Esta reacción sirve para la preparación técnica del cianuro.

Imidas metálicas. — Por sustitución de dos H del amoniaco, se obtienen las imidas. La más importante es la de plomo (NHPb), que tiene carácter explosivo.

Nitruros metálicos. — La sustitución de los tres H del amoniaco por un metal da lugar a los compuestos llamados nitruros, que son generalmente muy inestables y se descomponen por acción del agua, dando hidróxidos y amoniaco.

Hidroxilamina. — La hidroxilamina (NH_2OH) se obtiene por reducción del ácido nítrico diluido, operación que se lleva a cabo con el cinc y el cloruro estannoso. Junto a ésta, que queda en forma de sal con el ácido, se producen otros cuerpos. El tratamiento ulterior de la sal con una base anhidra y la purificación por destilación forma hidroxilamina pura. Ésta, cuerpo incoloro, cristalino y soluble en el agua en todas proporciones, es endotérmica, poco estable y se descompone fácilmente en nitrógeno, óxido nitroso y amoniaco por dos procesos simultáneos :

$$3NH_2O \rightarrow NH_3 + N_2 + 3H_2O$$
$$4NH_2OH \rightarrow 2NH_3 + N_2O + 3H_2O$$

Es por tanto muy reductora y su solución se oxida cuando se expone al aire. Tiene también propiedades básicas análogas a las del amoniaco y da con los ácidos sales de hidroxilamonio. Las más importantes de estas últimas son el cloruro ($ClNH_3OH$) y el nitrito (NO_2NH_3OH), que se utilizan en los análisis.

Hidracina. — La hidracina (NH_2NH_2), formada por reacción del amoniaco sobre hipoclorito sódico, es un reductor enérgico que se combina con uno o varios equivalentes de ácido para dar las sales llamadas de hidrazonio.

Ácido nitrhídrico o hidrazoico. — El ácido nitrhídrico (N_3H) se forma por acción de la hidracina sobre el ácido nitroso. En una primera fase se obtiene nitrito de hidrazonio, que se desdobla en ácido nitrhídrico y agua :

$$NO_2N_2H_5 \rightarrow N_3H + 2H_2O$$

El ácido anhidro, líquido incoloro y de olor intenso, tiene propiedades ácidas muy débiles y actúa como reductor liberando nitrógeno. Se emplea sobre todo una de sus sales, la azida de plomo [$(N_3)_2Pb$], para provocar explosiones.

Compuestos oxigenados del nitrógeno. — Los compuestos binarios del nitrógeno son muy numerosos : el monóxido de dinitrógeno (N_2O), el monóxido de nitrógeno (NO), el trióxido de dinitrógeno (N_2O_3), el dióxido de nitrógeno (NO_2), el pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5) y el trióxido de nitrógeno (NO_3). Los principales ácidos correspondientes son el ácido nitroso (NO_2H) y el ácido nítrico (NO_3H).

Monóxido de dinitrógeno. — El monóxido de dinitrógeno, más conocido con el nombre de *óxido nitroso* (N_2O), se prepara por descomposición del nitrato amónico, que se debe efectuar con mucho cuidado porque la reacción produce un gran desprendimiento de calor. Generalmente se calienta la sal hasta lograr la fusión de ésta y luego se deja de calentar; si a pesar de ello la reacción es muy viva, el recipiente en que tiene lugar la descomposición se envuelve en un paño húmedo para refrigerarlo. Este monóxido, gas incoloro, de sabor dulce, bastante difícil de licuar y relativamente soluble en el agua, es excitante, en dosis pequeñas, del sistema nervioso *(gas hilarante)* y se utiliza en cirugía como anestésico. Se descompone en sus distintos elementos por encima de 500 ºC, dando una mezcla de nitrógeno y oxígeno. Este último, al desprenderse en la reacción, se encuentra en mayor proporción que el contenido en el aire y hace que se mantengan todas las combustiones vivas (hidrógeno, azufre, fósforo, carbono, sodio, magnesio). El óxido nitroso, al igual que el oxígeno, aviva la llama en un pedazo de madera que presente un punto de ignición. En cambio, no mantiene las combustiones lentas ni la respiración.

Monóxido de nitrógeno. — El monóxido de nitrógeno u *óxido nítrico* (NO) se puede obtener por reducción del ácido nítrico diluido con virutas de cobre en frío :

$$8NO_3H + 3Cu \rightarrow 3(NO_3)_2Cu + 2NO + 4H_2O$$

o por tratamiento del ácido nítrico con sulfato ferroso en caliente :

$$6SO_4Fe + 3SO_4H_2 + 2NO_3H \rightarrow 3(SO_4)_3Fe_2 + 2NO + 4H_2O$$

En la industria se prepara únicamente para emplearlo después en la fabricación del ácido nítrico. El método seguido consiste en hacer pasar aire por un arco eléctrico o en oxidar el amoniaco con un catalizador adecuado.

PROPIEDADES. — El óxido nítrico, gas incoloro, muy difícil de licuar y bastante poco soluble en agua, tiene una formación endotérmica a partir de sus elementos, es estable sólo a temperaturas muy elevadas, metastable en frío y no llega a descomponerse por debajo de 1 000 ºC. Las combustiones en su atmósfera se verifican si existe alta temperatura. Con el hidrógeno no da mezcla detonante y no reaviva la llama en un pedazo de madera con un punto de ignición, pero el magnesio y el fósforo arden con él.

El oxígeno se fija en frío en este monóxido, cuya molécula no está saturada. Se originan, según sea la

proporción de la mezcla, trióxido de dinitrógeno (N_2O_3) o dióxido de nitrógeno (NO_2) y, en presencia de agua, ácido nitroso y ácido nítrico.

Fija asimismo el cloro, dando cloruro de ácido del ácido nitroso (NOCl), gas de color rojo, y es absorbido por los dióxidos metálicos para formar el nitrito correspondiente. También lo absorben las soluciones de sulfato ferroso y se produce entonces un compuesto de adición pardo, que se disocia por el calor. Esta reacción sirve para reconocerlo y purificarlo.

Trióxido de dinitrógeno. — El trióxido de dinitrógeno o *anhídrido nitroso* (N_2O_3) puede prepararse con la reacción del ácido nítrico, bastante concentrado, y el anhídrido arsenioso :

$$2\,NO_3H + As_2O_3 + 2\,H_2O \rightarrow N_2O_3 + 2\,AsO_4H_3$$

La presencia de cantidades muy pequeñas de sales de mercurio cataliza positivamente esta formación.

Y se enfría a −40 °C una mezcla de oxígeno y óxido nítrico (NO) para obtenerlo.

PROPIEDADES. — El anhídrido nitroso es un líquido azul oscuro que hierve a −3 °C, dando vapores que se disocian inmediatamente :

$$N_2O_3 \rightleftarrows NO + NO_2$$

Con el hielo fundente da una mezcla de ácido nítrico y ácido nitroso. Éste, inestable a la temperatura ordinaria, se descompone en ácido nítrico y óxido nítrico y, por reacción con un álcali, se obtiene el nitrito correspondiente o sal del ácido nitroso (NO_2H).

Propiedades de los nitritos. — El ácido nitroso no existe en libertad. Sin embargo, abundan sus sales o *nitritos*, que son relativamente estables, mientras no estén en solución ácida, en cuyo caso pueden actuar ya como *oxidantes*, produciendo nitrógeno o un óxido inferior, ya como *reductores*, transformándose entonces en nitratos. Reducen así el permanganato potásico, el ácido crómico y el cloruro de oro, y oxidan el ácido sulfuroso, el yoduro potásico y las sales ferrosas, dando óxido nítrico. La aplicación más importante reside en la acción que ejercen sobre las anilinas, con las que forman los *diazoicos*, que sirven para la obtención de numerosos colorantes, llamados *azoicos*.

Reconocimiento y obtención. — Los nitritos se reconocen tratándolos con un ácido que, en frío, provoca un desprendimiento de vapores rutilantes (mezcla de NO, N_2O_3 y NO_2). La obtención se efectúa en la industria, al mismo tiempo que la de los nitratos, a partir del dióxido de nitrógeno sintético. Los nitritos alcalinos se preparan calcinando los nitratos correspondientes en contacto con limaduras de plomo que fijan el oxígeno. A continuación se separa el nitrato disolviéndolo en alcohol hirviendo. El bióxido de bario absorbe el óxido nítrico en caliente :

$$BaO_2 + 2\,NO \rightarrow (NO_2)_2Ba$$

Por doble descomposición con un sulfato, se pasa del nitrito de bario a otro nitrito cualquiera.

Dióxido de nitrógeno. — El dióxido o *peróxido de nitrógeno* (NO_2) puede obtenerse de modo industrial por oxidación del óxido nítrico en frío :

$$2\,NO + O_2 \rightarrow 2\,NO_2$$

En el laboratorio se prepara puro, descomponiendo por el calor el nitrato de plomo previamente deshidratado :

$$2\,(NO_3)_2Pb \rightarrow 2\,PbO + 4\,NO_2 + O_2$$

Los vapores desprendidos en la reacción se recogen en un recipiente que se enfría con una mezcla frigorífica para que aquéllos se condensen.

PROPIEDADES. — El dióxido de nitrógeno es incoloro en estado sólido e igualmente en estado líquido, cuando la temperatura es de 0 °C, pero se torna amarillento si ésta se eleva. Hierve a 22 °C, dando vapores rojos que se oscurecen y disminuyen de densidad a medida que aumenta la temperatura. Estos fenómenos se deben a la disociación de las moléculas N_2O_4, estables en frío e incoloras :

$$N_2O_4 \rightleftarrows 2\,NO_2$$

A su vez, las moléculas NO_2 se disocian cuando la temperatura oscila entre 200 y 600 °C, dando óxido nítrico y oxígeno. El dióxido de nitrógeno es, por tanto, comburente y se sitúa en este aspecto entre el óxido nítrico y el óxido nitroso. Se conduce como un anhídrido mixto, capaz de desdoblarse según la ecuación :

$$4\,NO_2 \rightarrow N_2O_3 + N_2O_5$$

Mezclándolo con agua fría da los dos ácidos, que se superponen por orden de densidad (el ácido nitroso en el fondo) :

$$2\,NO_2 + H_2O \rightarrow NO_2H + NO_3H$$

A temperatura ordinaria, el ácido nitroso, inestable, se descompone según la reacción :

$$3\,NO_2H \rightarrow 2\,NO + NO_3H + H_2O$$

Los álcalis absorben el dióxido de nitrógeno, dando una mezcla de nitratos y nitritos :

$$2\,NO_2 + 2\,NaOH \rightarrow NO_3Na + NO_2Na + H_2O$$

Pentóxido de dinitrógeno. — El pentóxido de dinitrógeno, llamado generalmente *anhídrido nítrico* (N_2O_5), se obtiene deshidratando el ácido nítrico fumante con anhídrico fosfórico. Para ello, se destila en el vacío, a la temperatura ordinaria, la mezcla de estos cuerpos. Enfriando luego los vapores recogidos, se forman en el recipiente dos capas, de las cuales la superior es de pentóxido y la inferior de ácido nítrico, y ambas se separan mediante un embudo. Se puede conseguir también por reacción del cloro sobre el nitrato de plata :

$$2\,NO_3Ag + Cl_2 \rightarrow N_2O_5 + 2\,ClAg + \frac{1}{2}\,O_2$$

El anhídrido nítrico es un sólido blanco que se descompone a la temperatura ordinaria en dióxido de nitrógeno y oxígeno y, en contacto con el agua, da ácido nítrico.

Ácido nítrico (NO_3H). — El ácido nítrico, designado en el comercio con el nombre de *agua fuerte*, es conocido desde la Edad Media en la que se obtenía por calcinación de una mezcla de nitro y arcilla, método inventado por el español Raimundo LULIO (1235-1315). Se encuentra abundantemente en la Naturaleza, en forma de *nitratos*, principalmente los de sodio (NO_3Na), llamado *nitrato de Chile*, y potasio (NO_3K) o *salitre*.

Obtención. — El ácido nítrico se obtiene en los laboratorios tratando un nitrato, generalmente el sódico, por ácido sulfúrico concentrado :

$$NO_3Na + SO_4H_2 \rightarrow SO_4HNa + NO_3H$$

En la industria se logra principalmente por la oxidación catalítica del amoniaco, para lo cual se hace pasar una mezcla de éste y de oxígeno a través de una red muy fina de platino, calentada previamente a unos 500 °C. El calor desprendido en la reacción mantiene constante la temperatura :

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$$

Al mismo tiempo se producen las reacciones originadoras de ácido nítrico que se indican más adelante.

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$
$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2NO_3H + NO$$

También se produce a partir del nitrógeno atmosférico. Se emplea para ello el *horno de Birkeland-Eyde*, consistente en un *arco eléctrico* entre los polos de un imán que ensancha la llama (*fig.* 20). A la elevada temperatura del horno (3 000 ºC) se combinan el N y el O :

$$N_2 + O_2 \rightleftarrows 2NO$$

Al bajar la temperatura a 600 ºC, el NO se transforma en NO_2, dióxido de nitrógeno que se disuelve en agua, cae por unas torres de cuarzo y produce el ácido nítrico :

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2NO_3H + NO$$

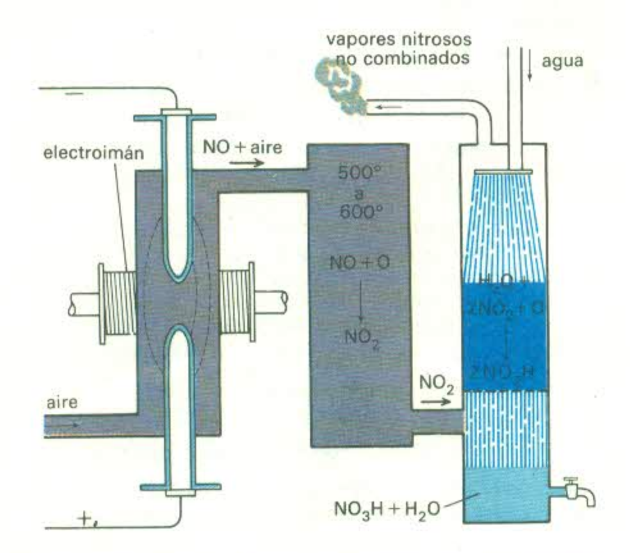


Fig. 20. Obtención del ácido nítrico en el horno llamado de Birkeland-Eyde.

Propiedades. — El ácido nítrico es un líquido incoloro, de olor picante, algo más denso que el agua y soluble en ella en todas las proporciones. Suele tomar un color amarillo, porque se descompone por la acción de la luz dando vapores rojizos de peróxido (NO_2), que lo tiñen al disolverse en él.

Es un ácido fuerte y muy corrosivo. Ataca a los metales, formando nitratos y desprendiendo vapores nitrosos (NO y NO_2) de color pardo rojizo. En estos casos nunca se desprende hidrógeno, ya que el que se libera se oxida con el ácido nítrico restante y se desprenden los «vapores rutilantes» NO y NO_2. No ataca, sin embargo, al oro y al platino y para disolver estos metales se utiliza el *agua regia*, mezcla de los ácidos clorhídrico y nítrico, y se forma el tricloruro de oro soluble :

$$3ClH + NO_3H \rightarrow \underset{\text{cloruro de nitrosilo}}{Cl(NO)} + 2H_2O + 2Cl$$

La principal propiedad del ácido nítrico es la de ser muy oxidante y, por tanto, de descomponerse fácilmente, desprendiendo vapores nitrosos y oxígeno :

$$4NO_3H \rightarrow 4NO_2 + O_2 + 2H_2O$$

Aplicaciones. — El ácido nítrico se emplea en la fabricación de colorantes, explosivos (nitroglicerina, nitrocelulosa y trilita) y abonos sintéticos (nitrato cálcico, potásico y amónico). El ácido diluido sirve de nordiente para tratar las planchas destinadas al grabado.

Nitratos. — El ácido nítrico, al ser monoácido, forma sólo nitratos neutros (normales), solubles en agua, los cuales, calentados fuertemente, se transforman en óxidos y liberan oxígeno y óxidos de nitrógeno. Esto explica que sean, como el ácido nítrico, muy oxidantes. Así, por ejemplo :

$$2(NO_3)_2Cu + \text{calor} \rightarrow 2CuO + 4NO_2\uparrow$$

Fósforo *(P = 30,975)*

El fósforo es un cuerpo simple, transparente, incoloro o ligeramente amarillento, muy inflamable y luminoso en la oscuridad.

Obtención y preparación. — El fósforo se encuentra principalmente en el suelo en forma de fosfato tricálcico. Esta misma sal existe en los huesos de los vertebrados, y la acumulación de los caparazones de moluscos ha originado yacimientos de fosfatos que se explotan actualmente.

El *fósforo blanco* se prepara tratando en el horno eléctrico el fosfato tricálcico pulverizado por una mezcla de arena silícea y carbón, como se puede observar en la figura 21 ; la sílice desplaza el anhídrido fosfórico, que es reducido por el carbón; el silicato cálcico fundido fluye y es evacuado, mientras que el vapor de fósforo se condensa con agua fría :

$$(PO_4)_2Ca_3 + 3SiO_2 \longrightarrow 3SiO_3Ca + P_2O_5$$
$$P_2O_5 + 5C \longrightarrow \frac{1}{2}P_4 + 5CO$$

Se purifica por dos filtraciones sucesivas a una temperatura que oscila entre 50 y 60 ºC, una con negro animal y otra a través de una piel de gamuza.

Se obtiene también el monofosfato por reacción del fosfato tricálcico (huesos) con ácido clorhídrico :

$$(PO_4)_2Ca_3 + 4ClH \rightarrow (PO_4H_2)_2Ca + 2Cl_2Ca$$

que, tratado primeramente con cal apagada y luego con ácido sulfúrico, da ácido fosfórico :

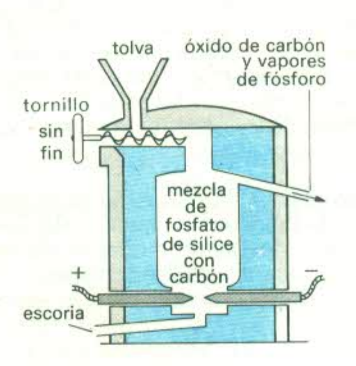
$$(PO_4H_2)_2Ca + Ca(OH)_2 \rightarrow 2H_2O + 2PO_4HCa$$
$$2PO_4HCa + 2SO_4H_2 \rightarrow 2PO_4H_3 + 2SO_4Ca$$

se elimina después el sulfato cálcico y se reduce el ácido fosfórico con carbón al rojo blanco :

$$2PO_4H_3 + 5C \longrightarrow \frac{1}{2}P_4 + 5CO + 3H_2O$$

El *fósforo rojo* se prepara calentando durante largo tiempo, en una atmósfera inerte de vapor de agua, el fósforo blanco a 280 ºC. El residuo se pulveriza y se trata con sulfuro de carbono, que disuelve el fósforo blanco que no se haya transformado.

Fig. 21.



Propiedades físicas y alotropía. — El fósforo es un sólido polimorfo del que se conocen diversas variedades.

El *fósforo blanco*, o incoloro, es ambarino, traslúcido y blando, funde a 44 ºC y permanece con facilidad en sobrefusión. Se disuelve en el sulfuro de carbono y cristaliza en el sistema regular. Los cristales, expuestos a la luz, se cubren con una capa muy tenue de fósforo violeta que les confiere un color amarillento, por lo que este tipo se llama erróneamente en el comercio *fósforo amarillo*. Es un veneno muy violento.

El *fósforo rojo*, más denso que el anterior, tiene un color que varía del rosa al violeta, por lo que se denomina también *fósforo violeta*. Se sublima sin fusión y, a diferencia de la variedad blanca, es prácticamente insoluble en el sulfuro de carbono y en los demás disolventes orgánicos; se puede obtener cristalizado por disolución en plomo fundido *(fósforo metálico* o *fósforo de Hittorf)*. No es tóxico.

El *fósforo negro*, obtenido a presión elevada por el físico norteamericano Perey Williams BRIDGMAN (1882-1961), es el más denso, el menos soluble y, por consiguiente, el más estable.

El vapor de fósforo, a temperatura moderada y según se puede deducir del estudio de su densidad, es tetraatómico.

Propiedades químicas. — Esas tres clases de fósforo, que dan lugar a las mismas combinaciones, son tres variedades alotrópicas de un mismo cuerpo simple. La transformación del fósforo blanco en fósforo rojo es exotérmica, por lo que las reacciones del primero son más vivas.

El fósforo difiere del nitrógeno por la menor afinidad que tiene frente al hidrógeno; sus combinaciones cloradas y oxigenadas son, sin embargo, mucho más estables que las de aquél.

El fósforo blanco se inflama en el aire a 60 ºC y el rojo lo hace también, aunque con mayor dificultad; en ambos casos, se obtiene anhídrido fosfórico (P_2O_5) y la reacción va acompañada por una intensa emisión de luz. El fósforo negro no se inflama nunca.

El fósforo blanco, expuesto al aire y en frío, sufre una combustión lenta, acompañada de fosforescencia, en la que se forma sobre todo anhídrido fosforoso (P_2O_3). El calor que se desprende en esta reacción explica la inflamación espontánea y frecuente de esta clase de fósforo. Éste es, por tanto, reductor. Con el vapor de agua da, a 250 ºC, hidrógeno fosforado y ácido fosfórico, y, a temperatura de ebullición, reacciona con las soluciones alcalinas para formar hiposulfitos. El ácido nítrico lo oxida al estado de ácido ortofosfórico.

El fósforo se inflama espontáneamente en el cloro, produciendo los cloruros PCl_3 y PCl_5, y lo hace igualmente al entrar en contacto con bromo y yodo. No reacciona con el hidrógeno, pero se combina en caliente con numerosos metales. Los fosfuros (P_2Ca_3, P_2Mg_3) se descomponen por el agua. El fósforo se mezcla también con el azufre, dando el sesquisulfuro (P_4S_3), utilizado en la fabricación de cerillas. Este no metal describe, a semejanza del nitrógeno, un ciclo en la Naturaleza : extraído del suelo por las plantas, pasa luego a los organismos animales, que, finalmente, lo reintegran en forma de excrementos.

Aplicaciones. — El fósforo sirve desde hace ya cierto tiempo para la fabricación sintética del fosfato amónico, abono, a la vez, fosfatado y nitrado. Se utiliza asimismo para la fabricación de cerillas, prismas de madera que se sumergen en azufre fundido y luego se cubren con una pasta de sesquisulfuro de fósforo, clorato potásico, polvo de vidrio y cola. Entra en la composición de ciertos bronces, para lo cual se hace pasar, a través de una retorta vertical, fósforo en estado de vapor sobre pedazos de cobre calentados al rojo.

En el laboratorio se emplea como reductor. Se usa también para fabricar raticidas y granadas bélicas y en la producción de cortinas de humo.

Fosfuros de hidrógeno. — Existen tres clases de fosfuros de hidrógeno : *gaseoso* (PH_3), también llamado *fosfamina*, *líquido* (P_2H_4) y *sólido*, cuya fórmula no se conoce con exactitud. A continuación sólo se hablará de la primera de ellas.

Preparación y aplicaciones. — El fosfuro gaseoso se prepara descomponiendo un fosfuro metálico, en frío, por el agua :

$$P_2Ca_3 + 6H_2O \rightarrow 2PH_3 + 3Ca(OH)_2$$

O por cocción de fósforo blanco en una base fuerte :

$$P_4 + 3KOH + 3H_2O \rightarrow 3PO_2H_2K + PH_3$$

El gas obtenido contiene vestigios de fosfuro de hidrógeno líquido, por lo que se inflama espontáneamente en el aire.

El fosfuro gaseoso es incoloro, insoluble en el agua y no forma sales con los álcalis, pero reacciona con los halógenos y arde en el aire, con llama clara, dando ácido fosfórico. Se combina con los hidrácidos halogenados para producir sales de fosfonio. Es un reductor muy enérgico capaz de quitar todo el oxígeno al ácido sulfúrico.

Compuestos oxigenados del fósforo

Indicamos en el cuadro siguiente los compuestos oxigenados del fósforo en sus diversas valencias

VALENCIA	ÓXIDOS	ÁCIDOS
I		PO_2H_3 (ác. hipofosforoso)
III	P_4O_6 (anhídrido fosforoso)	PO_3H_3 (ác. fosforoso)
IV		$P_2O_6H_4$ (ác. hipofosfórico)
V	P_2O_5 (anhídrido fosfórico)	PO_3H (ác. metafosfórico) $P_2O_7H_4$ (ác. pirofosfórico) PO_4H_3 (ác. ortofosfórico) $P_2O_8H_4$ (ác. peroxidifosfórico) PO_5H_3 (ác. peroximonofosfórico)

Ácido hipofosforoso (PO_2H_3). — *Hipofosfitos.* — No se conoce el anhídrido correspondiente y para obtener el ácido hipofosforoso se provoca la reacción del fósforo con el hidróxido de bario :

$$2P_4 + 3Ba(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3(PO_2H_2)_2Ba + 2PH_3$$

y se trata el hiposulfito formado con ácido sulfúrico :

$$(PO_2H_2)_2Ba + SO_4H_2 \rightarrow 2PO_2H_3 + SO_4Ba$$

Se separa el sulfato de bario por filtración y, por evaporación de la solución restante, se obtiene el ácido cristalizado, que funde a 17 ºC.

El ácido hipofosforoso, a pesar de contener tres átomos de hidrógeno, es monobásico, y los *hipofosfitos*, sales derivadas de él, son solubles en el agua.

Anhídrido fosforoso (P_4O_6). — El anhídrido fosforoso se forma por la oxidación lenta del fósforo blanco y se presenta como una masa blanca cristalina. Le corresponde la fórmula doble a causa de su densidad.

Ácido fosforoso (PO_3H_3). — *Fosfitos.* — El ácido fosforoso se obtiene, junto a los ácidos fosfórico e hipofosfórico, por la oxidación lenta del fósforo en una atmósfera húmeda.

La descomposición del tricloruro de fósforo por el agua produce ácido puro :

$$PCl_3 + 3H_2O \rightarrow PO_3H_3 + 3ClH$$

Este ácido es un sólido incoloro y cristalizado, cuyos cristales se descomponen por el calor :

$$4PO_3H_3 \rightarrow 3PO_4H_3 + PH_3$$

Menos oxigenado y más estable que el ácido fosfórico, es un reductor enérgico que reduce las sales de oro, plata y mercurio al estado metálico. Posee dos funciones «ácido» y da con la sosa el *fosfito* monosódico (PO_3H_2Na) y el disódico (PO_3HNa_2). El primero, al calentarse, se deshidrata y da *hipofosfato*. Los fosfitos de los metales alcalinos y de calcio son solubles.

Anhídrido fosfórico (P_2O_5). — El anhídrido fosfórico se prepara quemando fósforo en una corriente de aire seco. Los copos de anhídrido así formados se recogen en un frasco.

La *nieve fosfórica* es una mezcla de tres variedades (cristalizada, amorfa y vítrea) que se subliman y son solubles en el agua, con desprendimiento de calor. La solución obtenida contiene ácido metafosfórico (PO_3H), que se transforma poco a poco en ácido ortofosfórico. El anhídrido fosfórico se emplea por esta última razón en la desecación de los gases y en numerosas reacciones de deshidratación.

Ácido ortofosfórico (PO_4H_3). — *Fosfatos.* — El ácido ortofosfórico se prepara industrialmente tratando el fosfato natural o los huesos calcinados con una cantidad suficiente de ácido sulfúrico :

$$(PO_4)_2Ca_3 + 3SO_4H_2 \rightarrow 3SO_4Ca + 2PO_4H_3$$

Se purifica transformándolo en fosfato monoamónico ($PO_4H_2NH_4$), que se deja cristalizar, y se trata luego con agua regia.

El fosfato tricálcico natural, al ser muy poco soluble, se transforma en fosfato monocálcico soluble :

$$(PO_4)_2Ca_3 + 2SO_4H_2 \rightarrow 2SO_4Ca + (PO_4H_2)_2Ca$$

cuya mezcla con el sulfato cálcico, llamada *superfosfato*, es el principal abono fosfatado al ser asimilable por las plantas. Si se sustituye el ácido sulfúrico por el ácido fosfórico se obtiene el *superfosfato doble*.

Se fabrica el ácido fosfórico en nuestros días, gracias al empleo del procedimiento eléctrico, por la acción del fósforo sobre el agua a 250 ºC. Si se trata este ácido con amoniaco sintético, se obtiene *fosfato amónico*, abono para las plantas que contiene a la vez nitrógeno y fósforo.

Propiedades. — El ácido fosfórico puro puede cristalizar, pero a menudo permanece en estado de sobrefusión. En el comercio se le expende en solución compuesta de diversos hidratos.

El ácido ortofosfórico, hacia 200 ºC, se deshidrata parcialmente y da ácido pirofosfórico :

$$2PO_4H_3 \rightarrow P_2O_7H_4 + H_2O$$

Éste, a su vez, se deshidrata al rojo oscuro y se transforma en ácido metafosfórico (PO_3H), volátil sin descomposición. El ortofosfórico posee tres funciones «ácido» y produce, con la sosa, fosfatos mono, di y trisódico (PO_4H_2Na, PO_4HNa_2, PO_4Na_3).

Los fosfatos disueltos dan, con el cloruro de bario, un precipitado blanco, y, con el nitrato de plata, otro amarillo de fosfato de plata (PO_4Ag_3), que, al ser ambos solubles en los ácidos, precipitan sólo en solución neutra.

Ácido pirofosfórico ($P_2O_7H_4$). — El ácido pirofosfórico se obtiene manteniendo el ácido ortofosfórico a 200 ºC o calcinando el fosfato disódico :

$$2PO_4HNa_2 \rightarrow P_2O_7Na_4 + H_2O$$

y tratando el pirofosfato obtenido por un ácido.

Se presenta en forma de masa vítrea incolora, que funde fácilmente, y, si se calienta al rojo, se deshidrata y se transforma en ácido metafosfórico. Al ser capaz de fijar agua, se convierte en ácido ortofosfórico. Esta última reacción se verifica de modo lento, en frío, y rápidamente a la temperatura de ebullición. El pirofosfórico es un cuerpo cuatro veces ácido, cuyas sales, insolubles, salvo las alcalinas, se disuelven en los ácidos. Los pirofosfatos dan, respectivamente, con el cloruro de bario y el nitrato de plata, unos precipitados blancos de $P_2O_7Ba_2$ y $P_2O_7Ag_4$, solubles en medio ácido.

Ácido metafosfórico (PO_3H). — El ácido metafosfórico se obtiene tratando al rojo el ácido ortofosfórico o calcinando el fosfato diamónico comercial :

$$PO_4H(NH_4)_2 \rightarrow PO_3H + 2NH_3 + H_2O$$

Este monoácido fuerte forma una masa vidriosa amorfa, ávida de agua y delicuescente. No se descompone por el calor. Cuando se pone en contacto con el agua, se transforma en ácido ortofosfórico, lentamente en frío o de modo rápido a la temperatura de ebullición, sin pasar por la fase intermedia de ácido pirofosfórico. Los metafosfatos alcalinos son solubles en el agua y los otros, insolubles en medio neutro, se disuelven en las soluciones ácidas, excepto la sal de bario [$(PO_3)_2Ba$], de color blanco.

El ácido metafosfórico, el único de todos los fosfóricos en dar un precipitado con el cloruro de bario, posee la propiedad característica de coagular la albúmina en frío.

Ácidos peroxifosfóricos ($P_2O_8H_4$, PO_5H_3). — *Peroxifosfatos.* — La electrólisis de los difosfatos permite obtener peroxidifosfatos (sales del ácido peroxidifosfórico o $P_2O_8H_4$) :

$$2PO_4HK_2 \rightarrow P_2O_8K_4 + H_2$$

que, tratados por el agua, producen sales del ácido peroximonofosfórico :

$$P_2O_8K_4 + H_2O \rightarrow PO_5HK_2 + PO_4HK_2$$

Los ácidos peroxifosfóricos son muy inestables y se descomponen fácilmente, dando oxígeno y el ácido fosfórico correspondiente, por lo que son buenos oxidantes.

Compuestos halogenados del fósforo. — El fósforo, al combinarse con los halógenos, actúa como trivalente y pentavalente, y de estos compuestos se conocen dos fluoruros gaseosos (PF_3 y PF_5), dos clo-

ruros líquidos (P_2Cl_4 y PCl_3) y uno sólido (PCl_5), un bromuro líquido (PBr_3) y uno sólido (PBr_5) y dos yoduros sólidos (P_2I_4 y PI_3). Además forma con el oxígeno y el cloro el compuesto $POCl_3$.

Tricloruro de fósforo (PCl_3). — Este cuerpo se prepara por combustión del fósforo blanco en corriente de cloro seco :

$$P_4 + 6Cl_2 \rightarrow 4PCl_3$$

El tricloruro así obtenido se purifica por destilación y se presenta en forma de líquido incoloro, fumante al aire, que se descompone por el agua según la reacción :

$$PCl_3 + 3H_2O \rightarrow PO_3H_3 + 3ClH$$

Pentacloruro de fósforo (PCl_5). — El pentacloruro de fósforo se obtiene haciendo pasar una corriente de cloro seco en el tricloruro :

$$PCl_3 + Cl_2 \rightleftarrows PCl_5$$

Es un sólido blanco amarillento, que se sublima a la presión atmosférica. La densidad de su vapor disminuye al aumentar la temperatura y, debido al cloro dejado en libertad, aparece una coloración verde. Esta combinación se descompone por el agua y cuando hay exceso de ésta se obtiene :

$$PCl_5 + 4H_2O \rightarrow PO_4H_3 + 5ClH$$

que reacciona con los ácidos y los anhídridos para dar los cloruros de ácido correspondientes.

Oxicloruro de fósforo ($POCl_3$). — El oxicloruro de fósforo se forma por la acción de cierta cantidad de agua sobre el pentacloruro :

$$PCl_5 + H_2O \rightarrow POCl_3 + 2ClH$$

pero la manera más práctica de obtenerlo consiste en la reacción del ácido oxálico con el pentacloruro :

$$PCl_5 + C_2O_4H_2 \rightarrow POCl_3 + CO_2 + CO + 2ClH$$

Es un líquido incoloro, fumante al aire, que se descompone por el agua para dar ácido ortofosfórico y ácido clorhídrico.

Arsénico *(As = 74,91)*

El arsénico, elemento relativamente escaso en la Naturaleza, se encuentra sobre todo en estado de sulfuros As_2S_2 *(rejalgar)* y As_2S_3 *(oropimente)* y como arseniuros y arseniosulfuros metálicos. Existe también en las piritas.

Obtención. — Apenas se prepara industrialmente ya que sus aplicaciones son limitadas. Para obtenerlo, se calienta, en ausencia de aire, la pirita arsenical :

$$SAsFe \longrightarrow SFe + \frac{1}{4} As_4$$

El arsénico, sublimado, se recoge en un recipiente adecuado. Se puede obtener también reduciendo el anhídrido arsenioso (As_2O_3) por el carbón.

Propiedades. — *Físicas.* — El arsénico es un sólido que se presenta en diversas variedades alotrópicas. Hay el llamado *ordinario* o *metálico*, sólido, de color gris brillante, insoluble y estable en frío, que se sublima hacia 400 °C; el *amarillo*, obtenido por enfriamiento brusco del vapor a 0 °C en la oscuridad, poco estable, soluble en benceno y en sulfuro de carbono; y el *amorfo*, negro, inestable e insoluble.

La densidad del vapor a 600 °C corresponde a la molécula As_4, que se disocia a temperaturas mucho más elevadas.

Químicas. — El arsénico presenta grandes analogías con el fósforo. Arde dando anhídrido arsenioso (As_2O_3), se oxida lentamente al aire, se inflama al entrar en contacto con el cloro, formándose en esta reacción el tricloruro de arsénico ($AsCl_3$), y reduce los álcalis y el ácido nítrico. No se conoce el pentacloruro.

Se combina con los metales dando arseniuros, que se descomponen por el agua liberando hidrógeno arseniado (AsH_3), análogo al PH_3.

Aplicaciones. — Se utiliza para la fabricación de perdigones, mezclándolo con plomo, y se añade a ciertas aleaciones de estaño y cobre para formar el metal de los espejos.

Compuestos. — *Arsenamina (AsH_3).* — La arsenamina se obtiene tratando el arseniuro de cinc por el ácido clorhídrico :

$$As_2Zn_3 + 6ClH \rightarrow 2AsH_3 + 3Cl_2Zn$$

Es un gas incoloro, de olor a ajos, poco soluble en el agua, inestable a la temperatura ordinaria, que se descompone rápidamente por el calor, en cuyo caso el arsénico se deposita en forma de espejo negro, brillante, en las paredes de vidrio. Arde en el aire con llama pálida. Es buen reductor y muy venenoso. Se utiliza en toxicología para reconocer la existencia de los compuestos del arsénico.

Anhídrido arsenioso (As_2O_3). — El anhídrido arsenioso, obtenido tostando los arseniuros o los arseniosulfuros y purificado por sublimación, es un sólido blanco, que se presenta en dos variedades cristalinas y una amorfa, sublimable, poco soluble en el agua y soluble en el ácido clorhídrico. La densidad del vapor corresponde a la fórmula As_4O_6, disociable a temperatura elevada. Esta combinación no se descompone por el calor, se reduce en caliente por el hidrógeno y el carbono, liberando entonces arsénico, y, en solución, es transformable por los oxidantes (hipoclorito, permanganato, cloruro de oro) en ácido arsénico :

$$As_2O_3 + 3H_2O + 2O \rightarrow 2AsO_4H_3$$

Se emplea como veneno contra los animales dañinos, y, en pequeñas dosis, en terapéutica. Oxida, si se añade a las mezclas destinadas a la fabricación del vidrio, las sales ferrosas verdes convirtiéndolas en sales férricas amarillas.

Ácido arsenioso (AsO_3H_3). — ARSENITOS. — Al disolverse el anhídrido arsenioso en el agua, la solución resultante tiene propiedades ácidas, por formarse los ácidos metarsenioso, piroarsenioso y ortoarsenioso, que se transforman unos en otros :

$$As_2O_3 + H_2O \rightleftarrows 2AsO_2H$$
$$2AsO_2H + H_2O \rightleftarrows As_2O_5H_4$$
$$As_2O_5H_4 + H_2O \rightleftarrows 2AsO_3H_3$$

Este ácido débil, que no es posible obtener puro, forma con los álcalis sales mono, di y tribásicas llamadas *arsenitos*.

Anhídrido arsénico (As_2O_5). — El anhídrido arsénico, preparado por calentamiento del ácido arsénico, se presenta en forma de polvo blanco que, a la temperatura ordinaria, capta el agua del aire para transformarse de nuevo en ácido arsénico.

Ácido arsénico (AsO_4H_3). — ARSENIATOS. — El ácido arsénico se obtiene oxidando el arsénico o el anhídrido arsenioso por el ácido nítrico en caliente. Forma cristales prismáticos de gran tamaño, se descom-

pone por el calor, dando anhídrido arsénico, que, a su vez, se disocia en anhídrido arsenioso y oxígeno. Es un triácido, cuyas sales, llamadas *arseniatos*, mono, di o trisustituidos, son isomorfas de los fosfatos correspondientes y de propiedades muy parecidas. Al deshidratarse los arseniatos, se producen *piroarseniatos* y *metarseniatos*, que, cuando se ponen en contacto con agua, regeneran los ortofosfatos.

Antimonio *(Sb = 121,76)*

El antimonio, conocido en la Antigüedad bajo la forma de sulfuro, se llamó *stibium*, de cuyo nombre deriva el símbolo. Por la facilidad que tiene este cuerpo de unirse con el oro se le atribuyeron propiedades nobles y se le denominó *régulo*.

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El antimonio se obtiene por tostación de la estibina (S_3Sb_2), que se transforma en tetróxido :

$$S_3Sb_2 + 5O_2 \rightarrow Sb_2O_4 + 3SO_2$$

que se reduce luego con carbón :

$$Sb_2O_4 + 4C \rightarrow 2Sb + 4CO$$

Este cuerpo, sólido, blanco con reflejos metálicos azulados y muy quebradizo, resiste a la acción del ácido clorhídrico y del sulfúrico, se combina en frío con los halógenos y, a temperatura más elevada, con el oxígeno. Se emplea principalmente para preparar aleaciones, por la propiedad que tiene de comunicar a éstas brillo y dureza, y en pirotecnia. Los compuestos se utilizan en farmacia.

Compuestos. — *Estibamina (SbH_3).* — La estibamina, gas incoloro, maloliente, venenoso y algo soluble en el agua, presenta grandes analogías con la arsenamina. Se obtiene tratando con ácido clorhídrico el antimoniuro de magnesio :

$$Sb_2Mg_3 + 6ClH \rightarrow 2SbH_3 + 3Cl_2Mg$$

Sirve para estudiar los compuestos de antimonio, que se reducen a estibamina, gas que se descompone luego en antimonio e hidrógeno.

Anhídrido antimonioso (Sb_2O_3). — El anhídrido antimonioso, formado por la combustión del antimonio en el aire, es un polvo blanco, que el calor vuelve amarillo, insoluble en el agua y soluble en los álcalis. Se utiliza para fabricar barnices y pinturas.

Ácido antimonioso (SbO_3H_3). — El ácido antimonioso se obtiene por reacción del tartrato de antimonilo sobre el ácido sulfúrico diluido. Tiene carácter anfótero, es decir, que reacciona con los ácidos para dar sales de antimonio y con las bases para formar antimonitos.

Anhídrido antimónico (Sb_2O_5). — El anhídrido antimónico se prepara tratando el antimonio con ácido sulfúrico concentrado. Es un polvo amarillo claro que se disuelve poco a poco en el agua.

Ácido antimónico (SbO_4H_3). — ANTIMONIATOS. — La solución acuosa del anhídrido antimónico presenta reacción ácida, pero no se ha conseguido hasta ahora aislar el ácido antimónico.

Los *antimoniatos*, poco solubles en el agua y que se hidrolizan fácilmente, tienen pocas aplicaciones. El metantimoniato sódico se emplea para enturbiar los vidrios, y el piroantimoniato ácido de potasio como reactivo del sodio.

13. — No metales tetravalentes. Carbonoideos

Carbono : Caracteres generales. Diamante. Grafito. Carbones naturales. Propiedades del carbono. Compuestos. *Monóxido de carbono. Anhídrido carbónico o dióxido de carbono. Ácido carbónico y carbonatos. Carburos.* — **Silicio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Compuestos. *La sílice en la Naturaleza. Ácidos silícicos. Redes cristalinas de los ácidos silícicos y de los silicatos. Silicatos. Siliconas.*

El grupo de los carbonoideos, integrado por los elementos *carbono*, *silicio*, *germanio*, *estaño* y *plomo*, es el cuarto de la tabla periódica y todos éstos poseen cuatro electrones en la capa externa. El germanio, el estaño y el plomo son metales y, como tales, se estudiarán más adelante, en el capítulo 27.

Carbono *(C = 12,011)*

Caracteres generales. — El carbono sólo, entre los elementos mencionados anteriormente, es un no metal, aun cuando una variedad suya, el grafito, posea conductividad metálica y guarde ciertas analogías con los semimetales.

Los cuatro electrones que el carbono posee en la capa externa forman configuraciones muy estables al unirse entre sí, lo que explica la inactividad química de este elemento a la temperatura ordinaria. Éste, por la facultad que tiene de tomar o ceder estos electrones, se combina lo mismo con los elementos electropositivos que con los electronegativos.

El carbono se encuentra libre en la Naturaleza : puro y cristalizado en el diamante, con algunas impurezas en el grafito, y con mayor cantidad de éstas en los carbones naturales *(antracita, hulla, lignito* y *turba)*.

Combinado forma el anhídrido carbónico (CO_2) y los carbonatos y entra en las combinaciones orgánicas de todos los seres vivos. Los yacimientos de carbón y de petróleo (*fig.* 22 en la página siguiente) proceden de residuos animales y vegetales de antiguas edades geológicas.

Diamante. — El diamante, carbono puro y cristalizado en octaedros del sistema regular, es transparente, incoloro, o diversamente coloreado, y representa el cuerpo natural más duro que se conoce. Raya a todas las demás sustancias y es muy refringente, propiedad que, unida a su gran dureza, hace que sea la piedra preciosa más estimada en joyería. Se talla con su mismo polvo en distintas formas (brillante, rosa de Holanda, esmeralda, etc.). El valor que tiene se aprecia en quilates (un quilate es igual a 0,2 gramos). Arde a elevada temperatura (850 °C), dando anhídrido carbónico (CO_2). Los *diamantes negros*, llamados carbonados, no tienen valor en joyería y se usan para barrenar rocas y pulir el diamante u otras piedras preciosas.

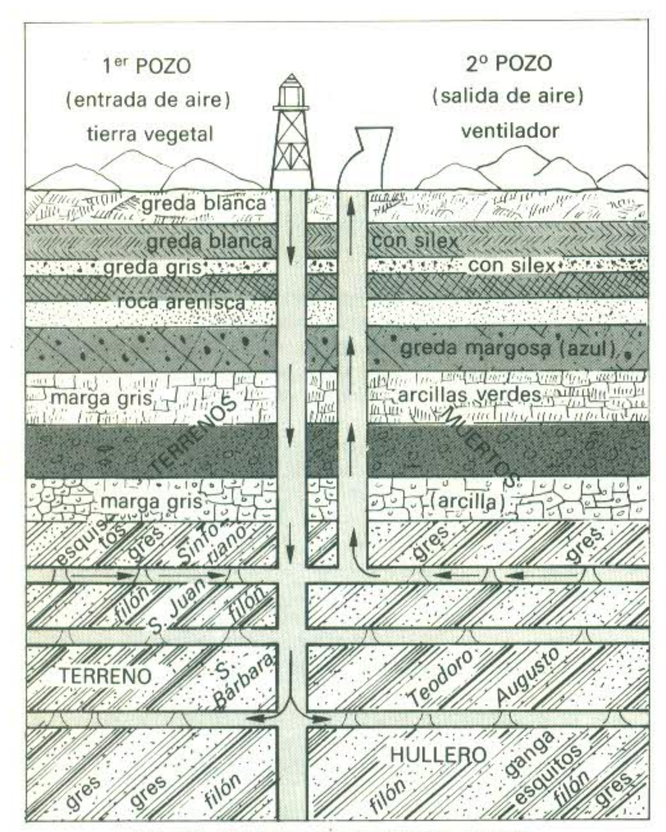


Fig. 22. Corte de una mina de carbón.

Grafito. — El grafito, que cristaliza en el sistema hexagonal, tiene color grisáceo, es blando y untuoso al tacto, buen conductor del calor y de la electricidad y muy resistente a los reactivos químicos. Se utiliza en la fabricación de lápices, electrodos, crisoles refractarios y sustancias lubricantes y en galvanoplastia. La distinción existente entre este elemento y el diamante radica en las diferentes redes cristalinas que tienen (*fig.* 23 y 24).

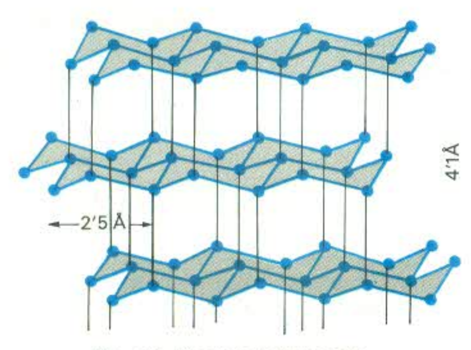
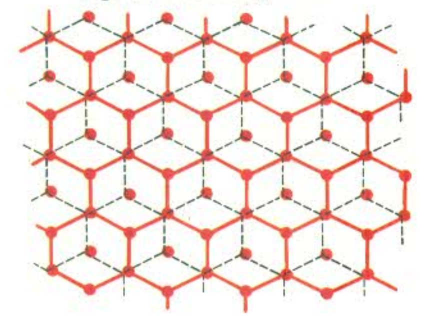


Fig. 23. Red del diamante.

Fig. 24. Red del grafito.



Carbones naturales. — El llamado carbono amorfo, o simplemente carbón, resulta de la descomposición natural o artificial de materias orgánicas en ausencia de aire. Estos carbones naturales *(antracita, hulla, lignito* y *turba)* o artificiales *(carbón de retorta, coque, carbón vegetal, negro animal, negro de humo)* poseen, en mayor o menor grado, la estructura del grafito hexagonal. La antracita, carbón natural más antiguo y más rico en carbono (98 %), tiene un poder calorífico de 8 000 calorías por kilogramo y arde con llama corta y poco brillante. La hulla, variedad muy importante, tiene un contenido de carbono de 71 a 94 %. Al destilarse en celdas cerradas da gas de alumbrado, amoniaco y alquitrán. Deja como residuo coque. El lignito, de formación posterior a la hulla, es menos rico en carbono, y la turba es mucho más reciente. Ésta tiene color pardo negruzco y estructura hojosa; encierra del 40 al 60 % de carbono y aparece en los terrenos pantanosos.

Propiedades del carbono. — El carbono, en cualquier forma, es insoluble en todos los disolventes corrientes, pero se disuelve en los metales fundidos, principalmente en el hierro. Arde en el aire y, mejor aún, en el oxígeno dando anhídrido carbónico con desprendimiento de calor :

$$C + O_2 = CO_2 + \text{calor}$$

Por la afinidad que tiene con este cuerpo, el carbono forma con el oxígeno CO o CO_2, según la cantidad de este gas, y es un elemento muy reductor empleado, en las variedades de hulla, coque y carbón de madera, en las industrias metalúrgicas para reducir los óxidos y dejar libre el metal.

Compuestos. — *Monóxido de carbono (CO).* — Este óxido se produce en la combustión incompleta del carbón, es decir, cuando hay poca influencia de oxígeno y haciendo pasar una corriente de CO_2 sobre carbón al rojo (*fig.* 25) :

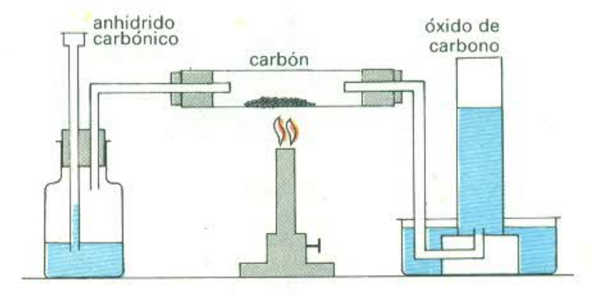


Fig. 25. Obtención del óxido de carbono.

PROPIEDADES FÍSICAS. — El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido, insoluble en el agua y díficil de licuar. Arde con llama azulada, produciendo CO_2 :

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

Es muy tóxico (tufo de los braseros), porque se combina con la hemoglobina de la sangre y forma un compuesto oxicarbonado que no transporta el oxígeno de los pulmones al resto del cuerpo humano.

PROPIEDADES QUÍMICAS. — La valencia estable del carbono es 4 mientras que la del CO es sólo 2. Este último, por tanto, arde en el aire o en el oxígeno, con llama azulada y sin dejar cenizas, para formar CO_2. Se

emplea como carburante en los motores de explosión, porque explosiona, mezclado con el aire, por la acción de una chispa eléctrica o de una llama. Industrialmente se utiliza como combustible en forma de gas pobre y de gas de agua.

El *gas pobre*, mezcla de aire y óxido de carbono, se obtiene haciendo pasar una corriente de aire por coque incandescente :

$$\underset{\text{aire}}{2C + (O_2 + N_2)} \longrightarrow \underset{\text{gas pobre}}{2CO + N_2}$$

El *gas de agua*, mezcla de óxido de carbono e hidrógeno, se prepara por el paso de una corriente de vapor de agua a través de coque al rojo :

$$C + H_2O \longrightarrow \underset{\text{gas de agua}}{CO + H_2}$$

El gas de agua tiene más calorías que el gas pobre, porque en el primero arden el óxido de carbono y el hidrógeno y en el segundo sólo lo hace el óxido de carbono.

El óxido de carbono, debido a la avidez que tiene por el oxígeno, es un cuerpo reductor. Así, por ejemplo, reduce el óxido de hierro dejando libre el metal :

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$$

Algo parecido ocurre con el óxido de cinc y con otros muchos óxidos :

$$ZnO + CO \rightarrow CO_2 + Zn$$

Anhídrido carbónico (CO_2) o dióxido de carbono. — El anhídrico carbónico existe en el aire a consecuencia de las combustiones de sustancias carbonadas, de la respiración de animales o vegetales y de muchas fermentaciones. También se desprende por algunas grietas de la corteza terrestre y lo llevan disuelto las aguas bicarbonatadas.

En el laboratorio se obtiene por la acción de los ácidos fuertes sobre los carbonatos :

$$CO_3Ca + 2ClH \rightarrow Cl_2Ca + H_2O + CO_2$$

En la industria se prepara en los hornos de cal por calcinación del carbonato cálcico :

$$CO_3Ca + \text{calor} \rightarrow CaO + CO_2$$

El anhídrido carbónico, gas incoloro, de olor picante y más denso que el aire, se licúa con facilidad y se disuelve algo en el agua. El agua de Seltz no es más que una solución de CO_2 a presión. Además no es comburente ni combustible, por lo que se usa como extintor de incendios. Se emplea también en la fabricación de la sosa, en la industria del azúcar, en la preparación de bebidas gaseosas y para producir bajas temperaturas. Se expende en tubos de acero sometido a presión, y, al salir de ellos, se evapora tan rápidamente que llega a solidificarse en forma de copos blancos o *nieve carbónica;* en este último estado se usa como refrigerante.

El anhídrido carbónico enturbia el agua de cal por formar carbonato cálcico (CO_3Ca) insoluble, lo cual permite reconocerlo :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CO_3Ca\downarrow + H_2O$$

Se reduce por el carbón al rojo, formando óxido de carbono :

$$CO_2 + C \rightarrow 2CO$$

Ácido carbónico y carbonatos. — La disolución del anhídrido carbónico en agua tiene carácter de ácido débil, que enrojece la tintura de tornasol y tiene sabor agrio. Esta reacción forma el ácido carbónico :

$$CO_2 + H_2O \rightarrow CO_3H_2$$

Este último es inestable, pero las sales derivadas de él son muy abundantes y de dos clases : carbonatos neutros y carbonatos ácidos o bicarbonatos, según que se sustituyan los dos hidrógenos o uno sólo por algún metal. Así tenemos CO_3Na_2 (carbonato sódico) y CO_3HNa (bicarbonato sódico).

El CO_2 contenido en el agua de lluvia disuelve el CO_3Ca insoluble en el agua porque se forma el bicarbonato cálcico, según la reacción :

$$CO_3Ca + CO_2 + H_2O \rightleftarrows (CO_3H)_2Ca$$

Se necesita, al ser la reacción reversible, un exceso de CO_2 para que el carbonato se disuelva y se convierta en bicarbonato. Este proceso causa la disolución de las rocas calcáreas. La formación de las estalactitas y estalagmitas en grutas y cuevas se debe, sin embargo, a la reacción inversa, en la que el bicarbonato cálcico pierde CO_2 y da un precipitado de carbonato cálcico, base de la estalactita.

Carburos. — El carbono, sometido a altas temperaturas, reacciona con algunos metales o con los elementos del grupo IV del sistema periódico y forma carburos. Citaremos como los más importantes los constituidos por el silicio y el calcio.

El *carburo de silicio* (CSi), llamado también *carborundo*, se prepara calentando en el horno eléctrico una mezcla de arena y coque pulverizado, que da como resultado un compuesto muy duro, utilizado para fabricar muelas de afilar, polvo de esmeril, crisoles y recipientes para ácidos :

$$SiO_2 + 3C \rightarrow CSi + 2CO$$

El *carburo cálcico* (C_2Ca), o simplemente *carburo*, se obtiene en grandes cantidades calentando la cal con polvo de coque en un horno eléctrico :

$$CaO + 3C \rightleftarrows C_2Ca + CO$$

El proceso es una reacción de equilibrio. El carburo cálcico presenta en su molécula un enlace triple entre los dos carbonos. La fórmula estructural o desarrollada del C_2Ca es

$$\begin{matrix} C & \diagdown & \\ ||| & & Ca \\ C & \diagup & \end{matrix}$$

Por debajo de 1600 ºC, el óxido de carbono da cal y carbón con el carburo, y la formación de éste sólo empieza a una temperatura elevada, especialmente entre los 2200 y 2300 ºC. El carburo de calcio industrial, de color negro grisáceo, se emplea para fabricar la *cianamida*, excelente abono nitrogenado :

$$C_2Ca + N_2 \rightleftarrows CN_2Ca + C$$

Del carburo cálcico se obtiene también el *acetileno*, producto fundamental para una multitud de síntesis orgánicas (alcohol, ácido acético, acetaldehído, caucho sintético, etc.) y para la soldadura de metales. La reacción, efectuada a una temperatura ordinaria, es la siguiente :

$$\underset{\text{carburo}}{C_2Ca} + 2H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 + \underset{\text{acetileno}}{C_2H_2}$$

Silicio *(Si = 28,09)*

El silicio, de gran importancia por la multitud de compuestos derivados y las insospechadas propiedades de muchos de ellos, forma cadenas, al igual que el carbono, con muchos eslabones y redes de coordinación, particularmente con el oxígeno y también con el aluminio, hidrógeno y carbono. Este elemento, que no se encuentra libre, sino combinado con el 25 % de los materiales de la corteza terrestre, es, después del oxí-

geno, el más abundante. Los principales minerales en cuya composición entra son la *sílice* (cuarzo, arena, etc.) y los *silicatos* (arcillas, micas, feldespatos, etc.).

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El silicio se prepara industrialmente reduciendo, con carbón en un horno eléctrico, el SiO_2 :

$$SiO_2 + 2\,C \rightarrow 2\,CO + Si$$

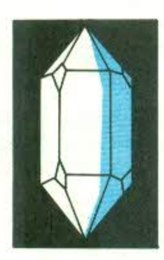
Se presenta en las variedades cristalizada y amorfa, ambas de gran dureza. Sólo se combina, a la temperatura ordinaria, con el flúor, formando tetrafluoruro de silicio (F_4Si), y, a temperatura elevada, con los demás halógenos y con el nitrógeno, boro y carbono. Con este último da el *carborundo* o *carburo de silicio* (CSi). Los ácidos carecen de acción sobre él, salvo si se trata de una mezcla de los ácidos fluorhídrico y nítrico en caliente. Los álcalis lo disuelven fácilmente, formando el correspondiente silicato con desprendimiento de hidrógeno :

$$Si + 2\,NaOH + H_2O \rightarrow SiO_3Na_2 + 2\,H_2$$

El silicio se emplea en la fabricación de hidrógeno para llenar globos, como desoxidante en la metalurgia del hierro y en aleaciones resistentes a los ácidos, en estado de ferrosilicio, y para hacer aceros especiales, muelles, electroimanes, etc. Se utiliza también, al ser semiconductor, en pilas voltaicas y rectificadores.

Compuestos. — *La sílice en la Naturaleza.* — El compuesto químico SiO_2, llamado erróneamente *anhídrido silícico,* se presenta en formas cristalinas y amorfas. Entre las primeras se pueden mencionar el *cuarzo* y el *cristal de roca,* los cuales si llevan impurezas de óxidos metálicos, que les dan colores variados, reciben los nombres de *jacinto de Compostela* (rojo), *falso topacio* (amarillo), *amatista* (violeta), etc. Las formas de estructura microcristalina son el *ágata*, el *ónix*, el *jaspe*, el *sílex*, etc. Entre las variedades amorfas se encuentran el *trípoli*, procedente de los esqueletos de algunas diatomeas, y la *tierra de infusorios*, que se compone de caparazones silíceos de estos microorganismos.

PROPIEDADES. — La sílice, que se presenta en formas del sistema hexagonal (*fig.* 26), es un mineral muy duro, de densidad 2,6, que raya el vidrio y funde a 1 600 °C.



Sílice en forma de cristal de roca.

Fig. 26.

Mediante el soplete oxhídrico o el horno eléctrico, puede moldearse y soplarse como el vidrio y se utiliza para fabricar tubos, matraces, crisoles, etc., que ofrecen la ventaja de resistir los cambios bruscos de temperatura, ya que el coeficiente de dilatación del cuarzo es muy pequeño. El alto punto de fusión de este compuesto se debe a que su molécula está polimerizada y constituye una macromolécula de fórmula $(SiO_2)_n$, siendo n un número elevado. Los ácidos no lo atacan, excepto el fluorhídrico, cuya acción se aprovecha para grabar en vidrio :

$$4\,FH + SiO_2 \rightarrow F_4Si + 2\,H_2O$$

Los álcalis y carbonatos alcalinos en fusión disuelven la sílice para dar silicatos :

$$SiO_2 + 2\,KOH \rightarrow SiO_3K_2 + H_2O$$

APLICACIONES. — Las variedades más vistosas de la sílice se emplean como ornamentación, la arena se utiliza en la construcción, en cerámica, en alfarería o para fabricar vidrio, y el cuarzo se usa en la producción de material de laboratorio y de lámparas de rayos ultravioleta, los cuales tienen la propiedad de atravesarlo, mientras que no lo hacen con el vidrio ordinario. El cuarzo, que se puede estirar en hilos muy finos y de gran resistencia a la tracción, sirve en muchos instrumentos de Física, como, por ejemplo, para sostener magnetos. Al tener propiedades piezoeléctricas, entra en la fabricación de los generadores de ultrasonidos.

Ácidos silícicos. — Al SiO_2 corresponde el ácido metasilícico (SiO_3H_2), como al CO_2 le corresponde el ácido carbónico (CO_3H_2), y se obtiene descomponiendo los metasilicatos alcalinos con un ácido :

$$SiO_3Na_2 + 2\,ClH \rightarrow 2\,ClNa + SiO_3H_2$$

El ácido metasilícico puede derivarse por deshidratación del ácido ortosilícico (SiO_4H_4).

Primeramente se forma el ácido disilícico que tiene como fórmula $Si_2O_7H_6$:

$$\begin{array}{ccccccc} & OH & & OH & & OH & OH \\ & | & & | & & | & | \\ HO- & Si- & \boxed{OH + H}O- & Si-OH & \longrightarrow HO- & Si-O- & Si-OH \\ & | & & | & & | & | \\ & OH & & OH & & OH & OH \end{array}$$

y se llega, por ulterior pérdida de agua, a una cadena de ácidos metasilícicos $(SiO_3H_2)_n$:

$$\begin{array}{ccccccccc} & OH & & OH & & OH & & OH & \\ & | & & | & & | & & | & \\ O- & Si & -O- & Si & -O- & Si & -O- & Si & - \\ & | & & | & & | & & | & \\ & OH & & OH & & OH & & OH & \end{array}$$

cuyas moléculas, para los primeros términos (3, 4, ... 6), se cierran en anillo y, para valores grandes de n, dan cadenas abiertas. Así, los ácidos carbónico (CO_3H_2) y metasilícico (SiO_3H_2) tienen fórmulas de estructura completamente diferentes, a pesar de su idéntica composición empírica.

En la cadena mencionada vemos cómo los átomos de Si y de O se van disponiendo alternativamente, indicando la tetravalencia del silicio y la bivalencia del oxígeno.

Redes cristalinas de los ácidos silícicos y de los silicatos. — Para el silicio, como para el carbono, se adopta la estructura tetraédrica. Un grupo SiO_4 puede representarse mediante un tetraedro cuyo centro lo ocupa un átomo de Si y cada uno de los cuatro vértices un átomo de O, como puede observarse más abajo en los dibujos de la figura 27.

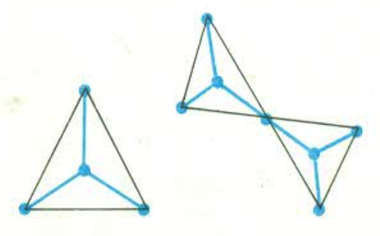


Fig. 27.

Redes de los ácidos ortosilícico y disilícico.

Dos tetraedros van enlazados siempre mediante un átomo de O, que pertenece simultáneamente a dos átomos de silicio; cualquier vértice libre de un tetraedro representa, en el caso de ácidos silícicos libres, un grupo oxhidrilo, y, en el caso de sus sales, un átomo de oxígeno cargado negativamente (*fig.* 28).

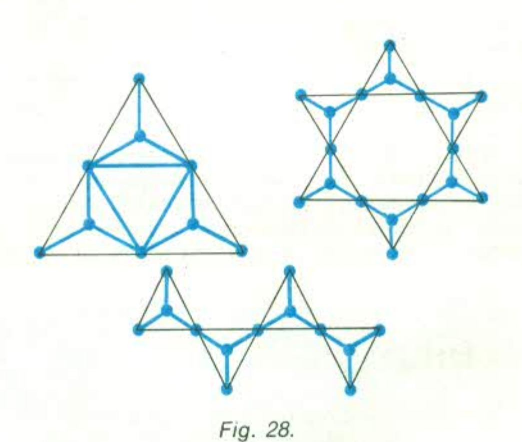


Fig. 28.

Redes de silicatos.

Las moléculas en cadena o anulares pueden agruparse entre sí con pérdida de agua; de esta manera se origina una molécula en cinta de fórmula $[(SiO_3)^=]_n$ o de estructura laminar, que fácilmente se exfolia en hojitas delgadas, como la mica, el talco, etc.

Los ácidos silícicos, que corresponden a estructuras laminares, pueden todavía perder agua y agruparse en redes espaciales en las que cada átomo de oxígeno enlaza con dos átomos de silicio. La fórmula de la combinación así originada es $(SiO_2)_n$, es decir, representa el anhídrido del ácido silícico. Se puede observar también la diferencia estructural entre el CO_2 y el SiO_2; el primero es un monómero y el segundo un polímero de orden superior, como ya se indicó. Esto hace que el SiO_2 sea sólido y nada volátil, a diferencia del CO_2, que se presenta gaseoso.

Silicatos. — Los silicatos son las sales de los ácidos silícicos que se derivan del ácido ortosilícico, del metasilícico o, más frecuentemente, de los ácidos polisilícicos. Constituyen minerales abundantes en la litosfera y forman gran número de rocas. Los de origen alcalino son solubles en agua y sus disoluciones muestran reacción alcalina, debido a un fenómeno de hidrólisis. Los demás son insolubles en agua.

SILICATOS ARTIFICIALES (VIDRIOS Y CRISTALES). — Si se funde una mezcla de silicatos alcalinos y silicato cálcico o de plomo y se deja enfriar, se obtiene una sustancia amorfa y transparente llamada *vidrio*. Las materias primas utilizadas para fabricarlo son la arena, la creta o carbonato cálcico y el carbonato o sulfato sódico :

$$2\,SiO_2 + CO_3Na_2 + CO_3Ca \rightarrow SiO_3Na_2 + SiO_3Ca + 2\,CO_2$$

El vidrio, cuyas propiedades dependen de la composición que tenga, se puede clasificar en *vidrios sódicos*, formados por silicato sódico y silicato cálcico, que son bastante fusibles y se emplean para las ventanas, vasos, etc.; *vidrios potásicos*, mezcla de silicato cálcico y potásico, que apenas son atacados por los reactivos y se utilizan para fabricar aparatos de óptica y material químico; y *cristales*, constituidos por silicato de plomo y silicatos alcalinos, que son más blandos, pesados, fusibles y refringentes que los demás vidrios. El cristal conocido con el nombre de *flint-glass* se emplea en aparatos de Óptica.

Siliconas. — A partir de la arena (SiO_2) con impurezas se fabrican unos productos llamados siliconas, de estructura análoga a la de los hidrocarburos y más sencillas que las metilsiliconas. Son muy resistentes al calor, altamente impermeables al agua y poseen elevado poder dieléctrico, propiedades que las hacen muy útiles como aislantes a altas temperaturas. También se producen con ellas barnices, resinas y aceites lubricantes.

14. — No metales del grupo del boro

Boro : Obtención y propiedades. Compuestos. *Anhídrido bórico, ácido bórico y boratos.*

Boro *(B = 10,82)*

El boro se encuentra en forma de anhídrido bórico (B_2O_3), combinado con el agua o con las bases, ácido bórico (BO_3H_3), presente en las fumarolas de Toscana, y boratos de sodio *(bórax)*, calcio o magnesio, en los yacimientos del Tíbet y de Asia Menor.

Obtención y propiedades. — El boro se prepara en el horno eléctrico, reduciendo el cloruro de boro por el hidrógeno, o bien el anhídrido bórico con magnesio :

$$B_2O_3 + 3Mg \rightarrow 2B + 3MgO$$

Este no metal tiene el aspecto de un polvo marrón, que funde hacia 2400 °C, y, al solidificarse, forma una masa sólida negra muy dura. Ningún cuerpo es capaz de disolverlo. Desde el punto de vista químico, es un metaloide trivalente, que no puede ser incluido en el grupo del nitrógeno. Sus propiedades lo emparentan más bien con el silicio o con metales como el aluminio, que se encuentra, en el sistema periódico, en la misma columna. El boro se combina, a temperatura adecuada, con todos los halógenos, dando compuestos del tipo BCl_3, arde con llama verde y gran desprendimiento de calor, apareciendo en la combustión anhídrido bórico (B_2O_3), tiene carácter reductor muy enérgico, descompone todos los anhídridos, así como numerosos óxidos metálicos, y se combina, en caliente, con el azufre y, a temperatura elevada, con el nitrógeno y el carbono, dando los compuestos B_2S_3, BN y CB_6, y también con numerosos metales para formar los boruros correspondientes. Los compuestos hidrogenados, que reciben el nombre de *boranos*, se suelen utilizar como combustible en los cohetes.

Compuestos. — *Anhídrido bórico, ácido bórico y boratos.* — El vapor de agua que se desprende por las grietas del suelo en Toscana se condensa en agua fría, y, al evaporarse esta solución, se cristaliza el ácido bórico. Para obtener éste se emplea también el borato cálcico, que se encuentra en yacimientos de Asia Menor, transformándolo en bórax.

El ácido bórico se deshidrata por el calor y da anhídrido bórico :

$$2BO_3H_3 \rightarrow 3H_2O + B_2O_3$$

PROPIEDADES FÍSICAS. — El ácido bórico forma agujas cristalinas y es soluble en el agua, sobre todo caliente; el anhídrido tiene aspecto de masa vidriosa transparente.

PROPIEDADES QUÍMICAS. — El anhídrido bórico es muy estable y se reduce sólo con pocos metales, como el sodio y el potasio, pero lo hace con el carbón en presencia de un cuerpo capaz de combinarse con el boro. El ácido fluorhídrico reacciona con el anhídrido bórico dando fluoruro de boro :

$$B_2O_3 + 6FH \rightarrow 2BF_3 + 3H_2O$$

El ácido bórico (BO_3H_3), llamado *ortobórico*, se deshidrata por efecto del calor, obteniéndose sucesivamente *ácido metabórico* (BO_2H), *tetrabórico* ($B_4O_7H_2$) y, al rojo, *anhídrido bórico*.

El anhídrido bórico disuelve los óxidos metálicos, y las sales producidas forman perlas, cuya coloración permite reconocer el metal que constituye el catión.

El ácido bórico forma ésteres con los alcoholes y da, con la glicerina, ácido glicerobórico, de carácter fuerte. Esta última reacción se utiliza para la determinación cuantitativa del ácido bórico.

El agua oxigenada concentrada transforma el borato sódico en perborato y este último la regenera al ponerse en contacto con agua, por lo que se emplea en la fabricación de numerosos productos usados para blanquear la ropa blanca.

APLICACIONES. — El ácido bórico se emplea como antiséptico (agua boricada) y en la fabricación de velas de cera.

El bórax es un disolvente muy enérgico de los óxidos y se le utiliza para el decapado y la soldadura de diversos metales, en cerámica, en la industria textil para preservar de la combustión el algodón, en la composición de ciertos barnices secantes y en la preparación de esmaltes.

15. — Metales. Metalurgia

Caracteres generales y estado natural. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Acción del aire y del agua en los metales. Acción de los ácidos. Serie electroquímica o de tensiones. — Metalurgia : Método de reducción. Método electrolítico. Aleaciones. *Propiedades.*

Caracteres generales y estado natural. — Los metales se caractererizan por tener un brillo especial, llamado *metálico*, y por ser buenos conductores del calor y de la electricidad. Esta gran conductibilidad, comparada con la de los no metales, se debe probablemente a la existencia de electrones libres en su interior. Además, los metales tienen una molécula monoatómica y originan las bases o hidróxidos al disolverse los óxidos metálicos en agua. Algunos metales se presentan en estado libre, como el oro, la plata y el platino, pero la mayoría de ellos aparecen en el estado de óxidos, sulfuros, carbonatos, fluoruros, cloruros, etc.

Propiedades. — *Físicas.* — Los metales, con la excepción del mercurio, que es líquido, son sólidos a la temperatura ordinaria y tienen todos brillo metálico y un color casi siempre blanco grisáceo, salvo en los casos del cobre (rojo) y del oro (amarillo). Son de densidad muy variable. Así, el sodio y el potasio flotan en el agua, mientras que otros poseen densidades muy elevadas. El magnesio y el aluminio son los más ligeros de los metales utilizados en la industria por sus aplicaciones prácticas.

DENSIDAD DE ALGUNOS METALES			
Osmio	22,48	Cobre	8,7
Platino	21,5	Hierro	7,8
Oro	19,4	Estaño	7,3
Mercurio	13,6	Cinc	6,9
Plomo	11,5	Aluminio	2,6
Plata	10,4	Litio	0,53

El punto de fusión varía entre 28,5 ºC para el cesio y 3 370 ºC para el wolframio.

TEMPERATURA DE FUSIÓN DE ALGUNOS METALES			
Iridio	2 350 ºC	Plata	962 ºC
Platino	1 755 ºC	Cinc	419 ºC
Hierro	1 510 ºC	Plomo	327 ºC
Cobre	1 085 ºC	Estaño	232 ºC
Oro	1 064 ºC	Mercurio	− 39 ºC

La dureza de un metal es tanto mayor cuanto más difícilmente se deja rayar por otros cuerpos. Algunos metales son blandos como la cera (sodio, potasio), pero otros, como el cromo, rayan hasta el vidrio.

Todos son buenos conductores del calor y de la electricidad. El mejor para la electricidad es la plata, seguida del cobre.

Algunos metales, como el oro, estaño y aluminio, son muy maleables, es decir, que con ellos pueden obtenerse láminas delgadísimas; otros, como el platino y el cobre, son dúctiles, o sea, pueden reducirse a hilos de muy pequeño diámetro; y los hay también, como el hierro, cobre, etc., que son tenaces o resistentes a la ruptura por tracción.

Los metales poseen estructura reticular, que se pone de manifiesto corroyendo con ciertos líquidos (ácido nítrico, etc.) su superficie pulimentada, que presenta entonces, si se observa con microscopio, el aspecto de un panal, lo cual representa la base de la Metalografía.

Químicas. — Los metales reaccionan con más o menos facilidad con el medio que les rodea, según que sean más o menos electropositivos. El aire, el agua y otros agentes químicos reaccionan con ellos formando compuestos que destruyen generalmente las propiedades mecánicas que tienen. Esta reacción, llamada *corrosión*, se evita cubriendo el metal con otro no corroíble, como en el caso del hierro al que se añade cinc *(hierro galvanizado)* o estaño *(hojalata).*

Acción del aire y del agua en los metales. — El oxígeno atmosférico no ataca al cobre, mercurio, oro, plata y platino, por cuya razón éstos reciben el nombre de *metales nobles;* en cambio, el sodio se oxida fácilmente y pierde el color gris brillante que tiene.

En algunos metales, la capa de óxido formado protege el resto del metal, como ocurre con el aluminio, cinc, estaño y plomo, pero ésta se desprende en el hierro y hay que cubrir este metal con cinc (galvanizado) o estaño (hojalata), como se indicó antes, para evitar su destrucción.

Con el agua reaccionan también de diversa manera. El sodio y el potasio la descomponen a la temperatura ordinaria, el magnesio lo hace a 100 ºC y el hierro ha de ponerse al rojo para descomponer el vapor de agua. En todos estos casos se desprende hidrógeno y se forma el óxido o el hidróxido del metal correspondiente.

Acción de los ácidos. — Muchos metales reaccionan con los ácidos, desprendiendo hidrógeno y formando las sales correspondientes. Tal ocurre con los metales alcalinos, alcalinotérreos, el aluminio, cinc, etc., y con los que son superiores al hidrógeno en la escala de tensiones que figura a continuación :

Li	2,96	Co	0,29
K	2,92	Ni	0,22
Na	2,71	Sn	0,135
Ca	2,7	Pb	0,122
Mg	2,4	H	0
Be	1,7	Sb	− 0,1
Al	1,6	Bi	− 0,2
Mn	1	As	− 0,3
Zn	0,76	Cu	− 0,345
Cr	0,56	Ag	− 0,8
Fe	0,44	Pt	− 0,9
Cd	0,4	Hg	− 0,9
Tl	0,34	Au	− 1,5

Los que se encuentran debajo del hidrógeno en esta tabla nunca liberan el hidrógeno de los ácidos y, cuando reaccionan con un ácido oxidante, como el ácido sulfúrico concentrado o el nítrico, se produce un fenómeno de oxidación-reducción, desprendiéndose, en lugar de hidrógeno, SO_2 ó NO y agua. Así :

$$2SO_4H_2 + 2Ag \rightarrow SO_4Ag_2 + SO_2 + 2H_2O$$

$$8NO_3H + 3Cu \rightarrow 3(NO_3)_2\,Cu + 2NO + 4H_2O$$

Los ácidos diluidos no reaccionan con los metales que siguen al hidrógeno (Cu, Ag, Au, Hg), es decir, no atacan a estos metales nobles; pero los que le preceden son atacados y el desprendimiento del hidrógeno será más enérgico cuanto más electropositivo sea el metal, como, por ejemplo, en el caso de la reacción entre el ácido sulfúrico y el cinc, que se realiza fácilmente, liberándose hidrógeno :

$$SO_4^{=} + 2H^+ + Zn \longrightarrow SO_4^{=} + Zn^{++} + H_2$$

Serie electroquímica o de tensiones. — Esta serie se basa en la electropositividad. Los metales se ordenan según la dificultad que manifiestan para depositarse en el cátodo durante una electrólisis, es decir, según el potencial mayor o menor que se requiere para que pase la corriente. Las cifras que se indican en la tabla anterior representan la diferencia de potencial entre un electrodo de un metal y la solución de una de sus sales concentrada normalmente (un ion gramo por litro). Se toma como base la diferencia de potencial que se necesita para transformar un ion H^+ en hidrógeno gaseoso, a la que se atribuye el valor cero.

Se ve inmediatamente que los metales alcalinos y los alcalinotérreos son los más electropositivos, lo que quiere decir que tienden grandemente a integrarse en la solución perdiendo electrones. Se comprende asimismo por qué el cinc desplaza al cobre, si el primero se introduce en una solución que contenga una sal del segundo. Al final de la lista se encuentran los metales nobles y preciosos, que se obtienen fácilmente por electrólisis y que, en cambio, se oxidan con gran dificultad.

Metalurgia

Se llama *metalurgia* al conjunto de operaciones técnicas que se emplean en la extracción de los metales a partir de sus respectivas menas.

Los métodos más utilizados son el de *reducción* y el *electrolítico*.

Método de reducción. — El método de reducción comprende principalmente las operaciones que se enumeran a continuación.

Concentración. El mineral debe previamente purificarse o concentrarse, por diversos procedimientos físicos, para eliminar lo más posible la ganga, es decir, las materias terrosas extrañas, como la arcilla, caliza, etc. Para ello se moltura o tritura, en molinos especiales, y después se somete a lavados con agua corriente que arrastra la ganga por ser más ligera que el mineral. A veces basta tamizar este último.

Calcinación y tostación. Calcinar un cuerpo significa calentarlo a alta temperatura, pero, si éste es combustible, tiene que aislarse del aire. Por calcinación, los carbonatos e hidróxidos de los metales corrientes se convierten en óxidos. De este modo se obtienen en la industria los óxidos de calcio, plomo y cinc :

$$CO_3Ca \underset{+\,\text{calor}}{\longrightarrow} CaO + CO_2$$

$$CO_3Zn \underset{+\,\text{calor}}{\longrightarrow} ZnO + CO_2$$

La tostación se emplea cuando el metal se presenta en estado de sulfuro y consiste en calentar éste en corriente de aire para oxidarlo. Por efecto de la tostación, el azufre se convierte generalmente en anhídrido sulfuroso (SO_2) y el metal en óxido.

Reducción. Por la reducción, el metal queda libre del oxígeno. Esta operación suele hacerse con carbón u óxido de carbono, aluminio, hidrógeno, etc.

En la reducción por carbón, éste se combina con el oxígeno del óxido y queda libre el metal, como sucede industrialmente para obtener cinc, hierro, estaño y bismuto. En el caso del hierro se produce la reacción siguiente :

$$Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 3CO\uparrow + 2Fe$$

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 3CO_2\uparrow + 2Fe$$

y en el del cinc :

$$ZnO + C \rightarrow CO\uparrow + Zn$$

$$ZnO + CO \rightarrow CO_2\uparrow + Zn$$

Como se ve, el óxido de carbono que se forma en la primera reacción sirve para reducir nuevas cantidades de óxido metálico.

Los metales que siguen al aluminio en la escala de tensiones pueden ser reducidos por medio de él. La reducción por aluminio o *aluminotermia* se emplea frecuentemente con los óxidos de cromo, manganeso, cobalto y de muchos otros que no se pueden reducir por el carbón a causa de la gran estabilidad que tienen. Para ello se mezcla el aluminio en polvo con el óxido del metal y se enciende aquél con una cinta de magnesio. En la viva reacción que sigue, el aluminio se combina con el oxígeno y deja libre el metal :

$$Cr_2O_3 + 2Al \rightarrow Al_2O_3 + 2Cr$$

Método electrolítico. — Los metales alcalinos (Li, Na, K, etc.) y alcalinotérreos (Mg, Ca, Ba, etc.), así como el aluminio, son químicamente muy activos, es decir, ceden fácilmente los electrones de valencia cuando se combinan con otros elementos, y, por consiguiente, es muy difícil reducirlos, o sea, devolver electrones a los

citados metales. Esta reducción sólo se consigue prácticamente por medio de la *corriente eléctrica*, lo que hace que tales elementos se obtengan por *electrólisis*, al pasar la corriente eléctrica por las sales fundidas del metal que se quiere obtener. El metal se deposita en el electrodo negativo.

La electrólisis debe realizarse en ausencia de agua, porque estos metales activos, excepto el aluminio, reaccionan con ella. Las menas que se usan corrientemente son los cloruros, pero para el aluminio se emplea el óxido (bauxita).

Aleaciones. — Se puede afirmar que actualmente tienen más importancia ciertas asociaciones metálicas, llamadas aleaciones, que los metales puros. Los siglos XIX y XX han sido llamados respectivamente el siglo de los metales y el de las aleaciones. Éstas se obtienen, por lo general, fundiendo juntos dos o más metales puros y dejando enfriar la mezcla. Las más importantes son las del hierro, pero hay otras muy comunes como el *bronce* (cobre y estaño), *latón* (cobre y cinc), *metal de soldar* (plomo y estaño) y *aleación de imprenta* (estaño, plomo y antimonio). En aviación tienen especial importancia las *aleaciones ligeras*, fabricadas con magnesio y aluminio. El mercurio forma con varios metales (sodio, potasio, estaño, cobre, plomo, plata, oro) las *amalgamas*.

Propiedades. — Las aleaciones presentan, a menudo, propiedades muy diferentes de las de los metales que las componen; son menos dúctiles y maleables que ellos, pero más duras y tenaces. Estas propiedades dependen también de la estructura y pueden cambiar por efecto de operaciones como la forja, la laminación, el estirado y, sobre todo, el temple y recocido. El *temple* se produce enfriando bruscamente un metal o una aleación y da a la sustancia una estructura de grano fino y una mayor tenacidad. Por el *recocido*, o enfriamiento lento efectuado después de haber calentado el material a temperaturas próximas a la fusión, el grano fino se hace más grueso y disminuye la tenacidad. Las aleaciones, que conducen bien el calor y la electricidad, tienen un punto de fusión parecido al de sus componentes.

16. — Metales alcalinos

Sodio : Estado natural y obtención. Propiedades y aplicaciones. Compuestos. *Cloruro sódico. Bromuro, yoduro y fluoruro sódicos. Óxidos de sodio. Hidróxido sódico o sosa cáustica. Sales oxigenadas. Sulfato sódico y sal de Glauber. Tiosulfato sódico. Nitrato sódico. Fosfatos de sodio. Tetraborato sódico o bórax. Carbonato sódico. Bicarbonato sódico. Silicato y sulfuro sódicos.* — **Potasio :** Estado natural, obtención y propiedades. Compuestos. *Cloruro potásico. Bromuro potásico. Yoduro potásico. Fluoruro potásico. Hidróxido potásico o potasa cáustica. Carbonato potásico. Lejías de potasa. Clorato potásico. Sulfito y sulfato potásicos. Bisulfato potásico o sulfato ácido de potasio. Nitrato potásico. Arseniato, cianuro y oxalato potásicos. Reconocimiento y determinación cuantitativa.* — **Rubidio :** Obtención y propiedades. — **Cesio :** Obtención y propiedades. — **Litio :** Obtención, propiedades y reconocimiento. Principales compuestos. — **Radical amonio :** Caracteres generales. Sales amoniacales. *Cloruro amónico. Otros halogenuros. Clorato, sulfato y nitrato amónicos. Fosfatos y carbonato amónicos.*

Los metales alcalinos constituyen el primer grupo de elementos, es decir, el que viene inmediatamente después de los gases nobles. Se conocen bien los cinco primeros de la serie *(litio, sodio, potasio, rubidio* y *cesio).* Del sexto, llamado *francio*, que fue descubierto en 1939, se tiene menos información, pero se sabe que es radiactivo.

Los compuestos de los metales alcalinos son isomorfos, lo mismo que los compuestos salinos del amonio. Este radical presenta grandes analogías con los metales de este grupo, y por ello se estudiará también al final de este capítulo.

Estos metales, cuyos átomos poseen un solo electrón en la capa externa, son monovalentes. Dada su estructura atómica, ceden fácilmente el electrón de valencia y pasan al estado iónico. Esto explica el carácter electropositivo que poseen, así como otras propiedades que les son peculiares.

Sodio *(Na = 22,991)*

Los compuestos del sodio, conocidos desde tiempos remotos, eran considerados en la Antigüedad como combinaciones de la sosa, estimada como elemento. La denominación *natrium*, que ha dado lugar al símbolo Na, designaba la sosa natural.

Estado natural y obtención. — El sodio no se encuentra libre en la Naturaleza. En cambio, sus sales son muy abundantes. Las más importantes son el cloruro, que se halla disuelto en el agua del mar y en los manantiales salados o en estado sólido (sal gema), el nitrato, que forma yacimientos importantísimos en Perú y sobre todo en Chile, el carbonato y el borato (aguas minerales) y las sales orgánicas (vegetales marinos).

El sodio se prepara hoy casi exclusivamente por electrólisis del cloruro sódico fundido. El metal afluye hacia el cátodo de hierro, en donde se separa y asciende a la superficie de la masa fundida por ser más ligero que ésta. El sodio así obtenido se somete a fusión y se coloca en forma de bloques en cajas de hojalata. A veces se le conserva también sumergido en benceno o petróleo.

Propiedades y aplicaciones. — El sodio es blando a la temperatura ordinaria, más ligero que el agua (D = 0,972), funde a 95,6 °C y hierve al rojo blanco incipiente. Cuando se le corta, ofrece brillo metálico blanco de plata, pero la superficie de corte se empaña rápidamente. El agua lo descompone en frío. Se combina con los demás metales alcalinos, produciendo aleaciones, y se disuelve en el amoniaco, dando lugar a *solvatos* de color violeta intenso, y en el mercurio, formando una amalgama. Se emplea para la extracción del aluminio, boro, magnesio y silicio, para la preparación del cianuro sódico y la amida sódica, como reductor en el laboratorio y, en la industria, en los lavaderos de oro para la obtención de este metal.

Compuestos. — ***Cloruro sódico (ClNa).*** — Muy abundante en la Naturaleza, se extrae de minas, como las de Wieliczka (Polonia), Stassfurt, cerca de Magdeburgo (Alemania) y Cardona (Barcelona, España). Cuando forma capas compactas, se saca en bloques; si está diseminado en capas de arcilla, se inundan las galerías con agua y se recupera la sal por evaporación.

La sal marina se extrae del agua de mar evaporando ésta al aire libre *(salinas)*. La sal que se obtiene a partir del agua salada es de color gris, ya que contiene impurezas de sulfato y cloruro magnésicos, de sulfato cálcico y de arcilla. Se purifica, por efecto del calor, mediante evaporación en unas calderas grandes y planas.

La sal marina pura, cuya solubilidad varía muy poco con la temperatura, es blanca, insoluble en el alcohol absoluto, cristaliza en cubos, que se agrupan formando pirámides, y se disuelve un poco en el alcohol ordinario. La solución formada así arde con llama amarilla, característica propia del metal que estudiamos. Éste se emplea como condimento en la alimentación del hombre y sirve también en la agricultura y en la industria constituyendo la base de tres industrias químicas muy importantes : la sosa, el cloro y el carbonato sódico. En el laboratorio se utiliza para las saladuras, operaciones que tienen por objeto precipitar los no electrólitos de sus soluciones.

Bromuro sódico (BrNa), yoduro sódico (INa) y fluoruro sódico (FNa). — Estas tres sales presentan grandes analogías entre sí, además de ser muy semejantes al cloruro de sodio. Se obtienen disolviendo los óxidos en los ácidos correspondientes. El fluoruro sódico impide el desarrollo de los organismos inferiores, a partir de una dosis determinada característica en cada especie. Permite de este modo la fermentación alcohólica exclusiva y selectiva de un mosto determinado.

El bromuro y el yoduro se emplean en terapéutica.

Óxidos de sodio. — Se conocen dos óxidos de sodio : el *óxido sódico* (Na_2O), muy inestable, al que corresponde el hidróxido (NaOH), y el *peróxido* (Na_2O_2), muy oxidante. Éste se obtiene por acción del aire sobre el sodio líquido. Se presenta en forma de polvo amarillo pálido. Se emplea como agente de blanqueo ya que libera oxígeno por reacción con el agua. Esta reacción tiene lugar en dos fases; en la primera se forma peróxido de hidrógeno :

$$Na_2O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 2\,NaOH + H_2O_2$$

que se descompone espontáneamente :

$$H_2O_2 \longrightarrow H_2O + \frac{1}{2}\,O_2$$

Hidróxido sódico o sosa cáustica (NaOH). — Se puede obtener por acción del agua sobre el óxido Na_2O, o por acción directa del sodio con el agua. Se prepara industrialmente por el procedimiento de caustificación de la sosa, que consiste en tratar el carbonato sódico disuelto con hidróxido cálcico :

$$CO_3Na_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CO_3Ca + 2\,NaOH$$

La sosa se presenta en forma de masa fibrosa blanca y opaca que se disuelve en el agua dando *lejía de sosa*, muy alcalina, empleada en la fabricación de jabones duros. Es muy cáustica y ataca la piel.

Sales oxigenadas. — Las principales sales oxigenadas del sodio son el *hipoclorito sódico*, contenido en el agua de Javel, el *clorato sódico* (ClO_3Na), el *sulfito sódico* ($SO_3Na_2\ 2\,H_2O$), obtenido neutralizando la solución de bisulfito con una cantidad de carbonato sódico equivalente a la que ha servido para prepararlo y haciéndole cristalizar, y el *bisulfito sódico* o *sulfito ácido de sodio* (SO_3HNa), que se obtiene haciendo pasar una corriente de anhídrido sulfuroso sobre carbonato sódico cristalizado.

Sulfato sódico (SO_4Na_2) y sal de Glauber (SO_4Na_2, $10\,H_2O$). — Se obtiene el sulfato anhidro en la descomposición del cloruro sódico por el ácido sulfúrico. En esta reacción se forma ácido clorhídrico como producto secundario.

En el *procedimiento Hargreaves* se evita la preparación preliminar del ácido sulfúrico, provocando la reacción, en aparatos especiales y a 600 °C, de una mezcla de anhídrido sulfuroso, aire y vapor de agua sobre la sal marina :

$$SO_2 + \frac{1}{2}\,O_2 + H_2O + 2ClNa \longrightarrow SO_4Na_2 + 2ClH$$

El sulfato anhidro es un polvo cristalino. Por cristalización de la sal disuelta en agua, se forman cristales transparentes de gran tamaño que responden a la fórmula SO_4Na_2, $10\,H_2O$. Los cristales de la sal de Glauber se eflorecen, es decir, pierden agua de cristalización cuando están expuestos al aire.

Si se vierte ácido clorhídrico sobre la sal de Glauber, la solución puede descender a 30° bajo cero (mezcla refrigerante). Esta sal se utiliza en la fabricación del carbonato sódico por el procedimiento Leblanc, en la preparación del vidrio ordinario y como purgante en terapéutica.

Tiosulfato sódico ($S_2O_3Na_2$, $5H_2O$). — El tiosulfato sódico se prepara por la acción de una corriente de anhídrido sulfuroso en una lejía de sosa que contenga azufre; se puede igualmente obtener fijando azufre en una solución de sulfito sódico :

$$SO_3Na_2 + S \rightarrow S_2O_3Na_2$$

Forma cristales muy estables al aire. Es soluble en el agua, sobre todo en caliente.

Nitrato sódico (NO_3Na). — Forma yacimientos muy importantes en Chile, que se extienden a lo largo de 500 km entre Iquique, Antofagasta y Taltal, a una altitud que oscila entre 500 y 1 300 m. Estos yacimientos constan de una mezcla compleja de varias sales dispuestas en capas, la más importante de las cuales es la del *caliche*, que contiene de 25 a 30 % de nitrato sódico puro. Una vez concentrada, esta sal sirve como abono. Se emplea también para la fabricación de nitrato potásico y ácido nítrico.

El nitrato sódico se disuelve bien en el agua fría y la solubilidad aumenta con la temperatura.

Fosfatos de sodio. — Se conocen numerosos fosfatos de sodio : PO_4Na_3, PO_4H_2Na, PO_4HNa_2, $P_2O_7Na_4$, PO_3Na, etc. El más importante es el bimetálico, de fórmula PO_4HNa_2, $12\,H_2O$, que se obtiene por reacción de la sosa con ácido fosfórico y se presenta cristalizado.

Tetraborato sódico o bórax ($B_4O_7Na_2$). — El tetraborato sódico se encuentra a veces en las orillas de lagos salados. Generalmente se prepara por reacción de la sosa con el ácido bórico de Toscana. Fundido, disuelve los óxidos metálicos, y esta propiedad se aprovecha para el decapado de los metales que se han de soldar. Se usa también en las industrias del vidrio, en los esmaltes y como antiséptico.

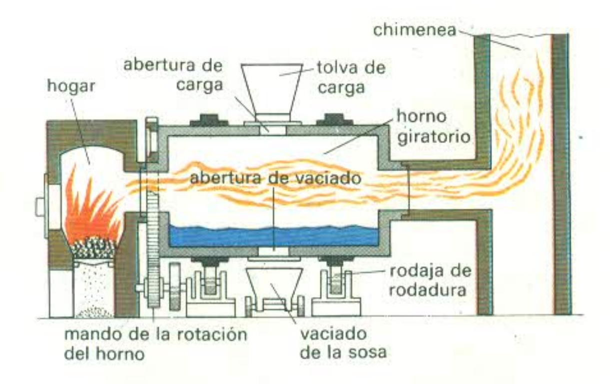


Fig. 29.

Horno giratorio.

Carbonato sódico (CO_3Na_2). — Durante mucho tiempo, el carbonato sódico se obtuvo exclusivamente por el *procedimiento Leblanc*. En la primera fase de éste se produce sulfato sódico a partir de la sal común y el ácido clorhídrico :

$$ClNa + SO_4H_2 \rightarrow SO_4HNa + ClH$$
$$SO_4HNa + ClNa \rightarrow SO_4Na_2 + ClH$$

El sulfato sódico obtenido así se somete a la acción del carbonato cálcico en presencia de carbón, que obra como reductor. La reacción tiene lugar en hornos de reverbero o en hornos giratorios (*fig.* 29).

$$SO_4Na_2 + CO_3Ca + 2C \rightarrow CO_3Na_2 + SCa + 2CO_2$$

Una vez enfriada, la masa fundida se lava con una solución alcalina fuerte; el carbonato sódico se disuelve, mientras que el sulfuro cálcico queda en estado sólido, lo que permite separar ambos cuerpos. El carbonato sódico se recupera por evaporación de la solución. Se llaman *lejías* las disoluciones de este tipo y *cernadas* los residuos. Estos últimos se utilizan para la obtención del azufre.

En el *procedimiento Solvay*, que se emplea actualmente mucho más que el método descrito anteriormente, se envía una corriente de anhídrido carbónico a una solución acuosa de cloruro sódico que contiene amoniaco, formándose en primer lugar bicarbonato amónico, el cual, al reaccionar con el cloruro sódico, da bicarbonato sódico y cloruro amónico; el bicarbonato, poco soluble en el agua, se separa, mientras que el cloruro amónico queda disuelto :

$$CO_2 + H_2O + NH_3 \rightarrow CO_3HNH_4$$
$$ClNa + CO_3HNH_4 \rightarrow CO_3HNa + ClNH_4$$

La calcinación del bicarbonato sódico así obtenido da carbonato neutro y gas carbónico, que se utiliza de nuevo :

$$2\,CO_3HNa \rightarrow CO_3Na_2 + CO_2 + H_2O$$

El carbonato sódico tiene numerosas aplicaciones (jabones, vidrios, tintorería, blanqueo).

Bicarbonato sódico (CO_3HNa). — Esta sal se prepara por el procedimiento Solvay, con el que se obtiene directamente, o por reacción del anhídrido carbónico sobre el carbonato neutro :

$$CO_3Na_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2\,CO_3HNa$$

Es un polvo blanco, cristalino, poco soluble en el agua. Se utiliza para la fabricación de aguas gaseosas y en Medicina (neutralización de la acidez gástrica, agua de Vichy).

Silicato sódico (SiO_3Na_2) y sulfuro sódico (SNa_2). — El silicato sódico sirve en la industria para el endurecimiento de las piedras.

El sulfuro sódico se obtiene reduciendo el sulfato con carbón a temperatura elevada :

$$SO_4Na_2 + 4\,C \rightarrow SNa_2 + 4\,CO$$

Cristaliza en solución acuosa, dando una sal de fórmula SNa_2, 9 H_2O. El azufre se fija en el sulfuro disuelto en agua, dando polisulfuros.

El sulfhidrato SHNa se forma haciendo pasar una corriente de sulfuro de hidrógeno por una solución de sosa; tiene la propiedad de disolver ciertos sulfuros.

Potasio *(K = 39,100)*

Estado natural, obtención y propiedades. — El potasio, llamado antiguamente *kalium*, de donde deriva el símbolo K, no existe en estado libre y sus sales no son tan abundantes como las del sodio. Las más importantes de éstas son el cloruro potásico *(silvina)*, el cloruro doble de potasio y magnesio *(carnalita)* y el sulfato doble de potasio y sodio *(silvinita)*, que se encuentran todas en yacimientos originados por evaporación de mares internos. El potasio existe también en el agua del mar y, en forma de nitrato, en la superficie de la tierra de los países cálidos. Entra en la composición de numerosos vegetales y animales.

Los químicos franceses Louis-Joseph Gay-Lussac y Louis Jacques Thenard obtenían este metal por acción del hierro sobre la potasa fundida; posteriormente se empleó el *procedimiento Brunner*, que consistía esencialmente en calentar una mezcla de carbón y carbonato potásico en una botella de hierro en la que se adaptaba un recipiente liso, donde se condensaba el potasio :

$$CO_3K_2 + 2\,C \rightarrow 3\,CO + 2\,K$$

Este método ha caído en desuso y actualmente se prepara el potasio casi exclusivamente por electrólisis, a partir del hidróxido potásico.

El potasio es un sólido blanco, de brillo metálico que se empaña al aire; es más ligero que el agua, quebradizo a 6 °C, blando a 15 °C, y funde a 62,5 °C. No se oxida en frío, descompone el agua con gran energía, desprendiendo hidrógeno que se inflama en el aire y, al mismo tiempo, forma potasa (KOH). Es más activo que el cloro. Se conserva en aceite de nafta para impedir el contacto con el aire, ya que éste siempre contiene agua.

Compuestos. — *Cloruro potásico (ClK).* — El cloruro potásico se encuentra en estado natural, ya solo (silvina), ya asociado a la carnalita, a la silvinita o a la kainita (sulfato de magnesio). Se extrae de las aguas madres de las salinas o de la carnalita por concentración de las soluciones que lo contienen. Se presenta en forma de cristales cúbicos, anhidros, de densidad 1,996 y de sabor salado.

Se emplea para preparar el carbonato potásico, la potasa cáustica, y, en general, todas las sales de potasio.

Bromuro potásico (BrK). — El bromuro potásico se obtiene por acción del bromo sobre la potasa y ulterior calcinación, para descomponer el bromato formado, o por reacción del carbonato potásico con el bromuro de hierro :

$$4CO_3K_2 + FeBr_2, 2FeBr_3 \rightarrow 8BrK + Fe_3O_4 + 4CO_2$$

Se presenta en forma de cubos incoloros con sabor salado y picante, y es muy soluble en el agua. Se emplea en los laboratorios fotográficos para la preparación de películas y, en Medicina, como sedante del sistema nervioso.

Yoduro potásico (IK). — El yoduro potásico se presenta formando cubos, tiene sabor acre y salado y es soluble en el agua. Se prepara de manera análoga al bromuro, a partir del yoduro de hierro. Se utiliza en Medicina como fundente, contra la escrófula y el bocio, y en el laboratorio para efectuar valoraciones yodométricas.

Fluoruro potásico (FK). — El fluoruro potásico se obtiene reduciendo la potasa con ácido fluorhídrico. Añadiendo una cantidad igual de éste a la que ha servido para prepararlo, se forma el fluorhidrato potásico (F_2HK), que cristaliza fácilmente.

Hidróxido potásico o potasa cáustica (KOH). — El protóxido de potasio reacciona con el agua y da hidróxido potásico (KOH) o potasa cáustica. Generalmente se prepara por causticación del carbonato potásico con cal apagada :

$$CO_3K_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2KOH + CO_3Ca$$

Actualmente se obtiene por electrólisis del cloruro potásico. Funde fácilmente por el calor y es muy delicuescente. Al mismo tiempo que absorbe la humedad del aire, fija el anhídrido carbónico de éste, dando carbonato potásico. Se disuelve bien en el agua, con gran producción de calor. De todas las bases empleadas es la más fuerte y ataca la piel. Se emplea para desecar gases y en la fabricación de jabones blandos.

Carbonato potásico (CO_3K_2). — El carbonato potásico o potasa del comercio se prepara de diferentes maneras: por lixiviación de las cenizas de vegetales terrestres, por las melazas de remolacha, por el churre de la lana o por el procedimiento Leblanc. Con este último se produce una sal impura.

El procedimiento Solvay es inaplicable, porque el bicarbonato potásico es más soluble que el de sodio. Se modifica reemplazando la salmuera amoniacal por una solución de trimetilamina $[N(CH_3)_3]$:

$$N(CH_3)_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow CO_3HNH(CH_3)_3$$
$$CO_3HNH(CH_3)_3 + ClK \rightarrow CO_3HK + ClHN(CH_3)_3$$

El cloruro de trimetilamina se descompone por la cal, libera la trimetilamina y el ciclo empieza de nuevo :

$$2ClHN(CH_3)_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow Cl_2Ca + 2N(CH_3)_3 + 2H_2O$$

El carbonato potásico es un polvo granulado, delicuescente, soluble en el agua e insoluble en el alcohol. Sirve para preparar la potasa cáustica, el agua de Javel, los vidrios y los cristales.

La obtención industrial se efectúa por el procedimiento de Stassfurt, o sea, por el envío de una corriente de anhídrido carbónico a una solución de carnalita cargada con carbonato de magnesio :

$$2\,(ClK,\ Cl_2Mg,\ 6H_2O) + 3CO_3Mg + CO_2 \rightarrow 2\,(CO_3Mg,\ CO_3HK,\ 4H_2O) + 3Cl_2Mg + 3H_2O$$

Esta sal se descompone por el calor :

$$2(CO_3Mg,\ CO_3HK,\ 4H_2O) \rightarrow CO_3K_2 + 2CO_3Mg + 9H_2O + CO_2$$

Lejías de potasa. — Las lejías de potasa se preparan en las fábricas de jabón por causticación de una solución de carbonato a la temperatura de ebullición :

$$CO_3K_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CO_3Ca + 2KOH$$

o por vía electrolítica.

Clorato potásico (ClO_3K). — El clorato potásico se prepara haciendo pasar una corriente de cloro por una solución concentrada y caliente de lejía potásica :

$$Cl_2 + 2KOH \rightarrow ClK + ClOK + H_2O$$
$$3ClOK \rightarrow ClO_3K + 2ClK$$

El hipoclorito obtenido al principio se desdobla por el calor en cloruro y clorato potásico. Se presenta en forma de escamas incoloras que funden a 350 °C y se descomponen a temperatura un poco más elevada, dando cloruro potásico y liberando oxígeno. Es muy poco soluble.

Se emplea en pirotecnia y en Medicina. Absorbido por el organismo, se elimina en parte por las glándulas salivares.

Sulfito y sulfato potásicos. — El sulfito potásico se obtiene de igual manera que la sal correspondiente de sodio.

El sulfato potásico (SO_4K_2) se forma por reacción del ácido sulfúrico con el cloruro potásico. Constituye grandes cristales, muy estables, y es soluble en el agua. Sirve como abono.

Bisulfato potásico o sulfato ácido de potasio (SO_4HK). — El bisulfato potásico se obtiene mezclando sulfato potásico y ácido sulfúrico, en cantidades equivalentes. Por el calor se transforma en pirosulfato $S_2O_7K_2$.

Nitrato potásico (NO_3K). — El nitrato potásico, llamado también *nitro* y *salitre*, existe en estado natural en algunos países. Se obtiene por doble descomposición entre el nitrato de Chile y el cloruro potásico :

$$NO_3Na + ClK \rightarrow NO_3K + ClNa$$

Tiene sabor fresco y picante y su solubilidad en el agua aumenta con la temperatura. Es un comburente enérgico, por lo que sirve para la fabricación de la pólvora negra, constituida por una mezcla de carbón, azufre y salitre.

Arseniato, cianuro y oxalato potásicos. — El arseniato potásico se obtiene por acción del ácido arsénico sobre el carbonato potásico. Con las sales de cobre da precipitados de color verde. Es muy venenoso.

El cianuro potásico (CNK) se origina cuando se calientan las sustancias orgánicas que contienen a la vez nitrógeno y potasio. Se emplea para la extracción del oro. Es un veneno muy violento.

De los diferentes oxalatos, el más empleado es la *sal de acederas* (C_2O_4HK), que tiene una gran avidez por el oxígeno y sirve como quitamanchas.

Existen ortofosfatos, tri, di y monopotásicos, un pirofosfato ($P_2O_7K_4$) y un metafosfato (PO_3K).

Reconocimiento y determinación cuantitativa. — Las sales de potasio toman una coloración azul rojiza en la llama del mechero. El cloroplatinato de potasio $[(Cl_6Pt)K_2]$, de color amarillo, sirve para la investigación y la determinación cuantitativa.

Rubidio *(Rb = 85,48)*

Obtención y propiedades. — El rubidio se encuentra junto al potasio en ciertas sales. Es absorbido por algunas plantas, como el tabaco.

Se prepara por acción del magnesio sobre el hidróxido de rubidio. Es un metal blanco, blando como la cera y muy oxidable. Entre las sales derivadas de este metal se conocen, principalmente, el cloruro ClRb, el bromuro y el yoduro, que cristalizan en cubos y que, en su mayor

parte, tienen propiedades análogas a las correspondientes del potasio. El carbonato neutro (CO_3Rb_2) es muy cáustico.

Al tener un empleo muy limitado, las sales de rubidio no se preparan industrialmente.

Cesio *(Cs = 132,91)*

Obtención y propiedades. — El cesio acompaña al potasio en las sales de escombreras. Existe también en forma de mineral, llamado *pollux*, aunque éste es poco abundante. Se obtiene principalmente por electrólisis del cianuro.

Es un metal de color blanco plateado, dúctil, muy blando, que se descompone por el agua, inflamándose. Es el más activo de todos los metales alcalinos y arde espontáneamente al contacto del aire. Sus sales se comportan de manera análoga a las del rubidio. El cesio se utiliza para fabricar ciertos tipos de células fotoeléctricas.

Tanto el cesio como el rubidio se reconocen generalmente por medio del *análisis espectral*.

Litio *(Li = 6,940)*

Obtención, propiedades y reconocimiento. — El litio se obtiene, en la actualidad, al descomponer el cloruro de litio fundido, mediante una corriente eléctrica. Es un cuerpo sólido, dúctil y con brillo plateado. Es el más ligero de todos los metales (D = 0,53) y el de mayor calor específico. Es relativamente estable.

Las propiedades de sus sales son intermedias entre las de los metales alcalinos y las de los alcalinotérreos.

El litio se emplea en la industria de la energía nuclear (preparación del tritio de la bomba atómica).

Este metal confiere a la llama del mechero una coloración roja muy característica. Puede también determinarse la presencia de este cuerpo por medio de la espectroscopia. El análisis cuantitativo se suele realizar por gravimetría, sirviéndose de un sulfato.

Principales compuestos. — Entre los principales compuestos del litio pueden mencionarse el *hidróxido de litio* (LiOH), base fuerte de carácter alcalino, que, si se calienta al rojo blanco, pierde agua y se transforma en óxido de litio (LiO_2); el *cloruro de litio* (ClLi), que no existe en la Naturaleza y, a diferencia de los demás cloruros alcalinos, cristaliza con el agua; y el *carbonato de litio* (CO_3Li_2), mucho menos estable que los otros carbonatos alcalinos, que, en cierta medida, se asemeja más a las sales correspondientes de los alcalinotérreos.

Las sales de litio tienen importantes aplicaciones en Medicina, ya que solubilizan el ácido úrico y combaten los cálculos renales y la gota.

Radical amonio

Caracteres generales. — Como ya se ha indicado, el radical amonio (NH_4) presenta grandes analogías con los metales alcalinos. La mayor parte de las sales amoniacales, isomorfas con las correspondientes sales potásicas, se descomponen con el calor, desprendiendo gas amoniaco, si el ácido es fijo, o una mezcla del ácido y amoniaco, si se trata de un ácido débil.

El amonio no existe libre y forma una amalgama análoga a la del sodio y el potasio.

El amoniaco y, en general, un gran número de sales amoniacales se originan cuando se descomponen por el calor las sustancias orgánicas nitrogenadas o cuando estas materias sufren putrefacción.

Sales amoniacales. — Las sales amoniacales se suelen preparar haciendo pasar una corriente de amoniaco por el ácido correspondiente. El calor descompone estas sales, cuando se hallan en un medio alcalino, quedando libre el amoniaco que contienen.

El reconocimiento y dosificación se realiza como ya se ha indicado al estudiar el amoniaco.

Cloruro amónico ($ClNH_4$). — Llamado también sal de amoniaco, el cloruro amónico se obtiene por reacción de una lechada de cal con las aguas amoniacales procedentes de la putrefacción de la orina o del lavado del gas de alumbrado, lo que provoca el desprendimiento del amoniaco, que se recoge en ácido clorhídrico. Se origina también como producto secundario en la obtención del carbonato sódico por el procedimiento Solvay.

Se presenta en forma de polvo cristalino, blanco, estable al aire; se sublima por el calor, forma, al condensarse, unas masas fibrosas translúcidas ligeramente amarillentas y se disuelve en el agua, provocando una disminución de la temperatura. Calentado por encima del rojo, se volatiliza sin fundir. A temperaturas más elevadas se disocia en NH_3 y ClH. Da lugar a cloruros dobles. Se emplea para decapar los metales (soldadura), en Medicina y para producir amoniaco. Mezclado con otras sales, sirve como abono.

Otros halogenuros. — Existen un bromuro, un yoduro y un fluoruro; éste se emplea en el análisis de los silicatos y para grabar en vidrio.

Clorato, sulfato y nitrato amónicos. — El clorato amónico (ClO_3NH_4) sirve como oxidante en la preparación del negro de anilina. Es poco soluble. Se obtiene saturando el ácido clórico con amoniaco.

El sulfato amónico [$SO_4(NH_4)_2$] se utiliza para la preparación del alumbre amoniacal y de ciertos abonos.

El nitrato amónico (NO_3NH_4) se forma tratando el ácido nítrico con amoniaco. Es un comburente enérgico, por lo que se utiliza para la fabricación de explosivos. Se disuelve muy bien en el agua con absorción de calor y sirve para preparar mezclas refrigerantes.

Fosfatos y carbonato amónicos. — Existen varios fosfatos amónicos. El más conocido es el *fosfato doble de amonio y sodio* (PO_4HNaNH_4) o *sal de fósforo*, empleado en análisis.

El carbonato amónico [$CO_3(NH_4)_2$] se prepara sublimando una mezcla de carbonato cálcico y cloruro amónico. La sal que se encuentra en el comercio es una mezcla de carbonato, bicarbonato y carbonato amónicos.



17. — Metales alcalinotérreos

Caracteres generales. — **Magnesio :** Obtención. Propiedades. Compuestos : *Cloruro de magnesio. Óxido de magnesio o magnesia. Sulfato de magnesio o sal amarga. Fosfato amónico-magnésico. Carbonato de magnesio.* — **Calcio :** Obtención y propiedades. Compuestos. *Cloruro de calcio. Óxido de calcio o cal viva. Hidróxido de calcio o cal apagada. Hipoclorito de calcio. Sulfito de calcio. Sulfato de calcio. Nitrato de calcio. Fosfatos de calcio. Carbonato de calcio. Sulfuro, hidruro y nitruro de calcio. Carburo de calcio. Cianamida de calcio.* — **Estroncio :** Propiedades y reconocimiento. Principales compuestos. — **Bario :** Obtención y propiedades. Principales compuestos. Reconocimiento y determinación cuantitativa. — **Radio :** Estado natural y obtención. Propiedades químicas del radio y de sus sales. — **Berilio :** Obtención y propiedades. Principales compuestos.

Caracteres generales. — Se conocen con el nombre de metales alcalinotérreos los seis elementos que forman el grupo II *a* del sistema periódico : *berilio, magnesio, calcio, estroncio, bario* y *radio.* Son divalentes y se les llama alcalinotérreos a causa del aspecto térreo de sus óxidos. Como el nombre indica, manifiestan propiedades intermedias entre los metales alcalinos y los térreos; el magnesio y, sobre todo, el berilio son los que más se asemejan a éstos. No existen en estado natural, por ser demasiado activos y, generalmente, se presentan formando silicatos, carbonatos, cloruros y sulfatos. Los metales son difíciles de obtener, por lo que su empleo es muy restringido. Descomponen el agua en frío, dando un hidróxido básico y desprendiendo hidrógeno al mismo tiempo :

$$Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + H_2$$

Los óxidos que forman son menos solubles en el agua que los álcalis. Los carbonatos y los fosfatos son insolubles. Los sulfatos son poco o nada solubles. En cambio, los cloruros, bromuros, yoduros y nitratos se disuelven fácilmente.

Magnesio *(Mg = 24,32)*

El magnesio se encuentra abundantemente en la Naturaleza, formando diversos minerales, como los sulfatos procedentes de depósitos lacustres *(kieserita* y *epsomita),* carbonatos *(magnesita* y *dolomita)* y silicatos *(olivino, esteatita, talco, espuma de mar* y *asbesto).* Las sales de escombreras contienen varias sales de magnesio *(carnalita* y *bischofita).*

Obtención. — El magnesio, durante mucho tiempo, se obtuvo por acción del sodio al rojo sobre el cloruro de magnesio en un crisol de hierro :

$$2Na + Cl_2Mg \rightarrow 2ClNa + Mg$$

Este método ha caído actualmente en desuso.

También se puede conseguir este metal si se descompone la magnesita calentándola con carbón en una corriente de cloro :

$$CO_3Mg \rightarrow MgO + CO_2$$
$$MgO + Cl_2 + C \rightarrow MgCl_2 + CO$$

y se electroliza el cloruro fundido así producido. Se obtiene asimismo por electrólisis del agua de mar, método reciente que es objeto de una industria muy activa en los Estados Unidos y Canadá.

Propiedades. — El magnesio tiene un brillo análogo al de la plata, es ligero (D = 1,75), funde hacia 630 °C, destila a una temperatura un poco superior a 1 000 °C y se puede reducir a hojas. Como es muy poco tenaz, para estirarlo en forma de alambre hay que comprimirlo enérgicamente en un molde de acero calentado a la temperatura de fusión del metal; este molde lleva un agujero por el que sale la masa fundida, que se solidifica inmediatamente.

Arde con llama muy viva, rica en radiaciones fotogénicas, por lo que se empleaba para tomar fotografías. Arde también en el vapor de agua, óxido de carbono, anhídrido carbónico, cloro, bromo, yodo y azufre. Activado por el yodo da lugar a combinaciones orgánicas.

Se utiliza como reductor enérgico, así como para la obtención de aleaciones ligeras.

Compuestos. — *Cloruro de magnesio (Cl_2Mg, $6H_2O$).* — El cloruro de magnesio se encuentra en las aguas madres de las salinas. Se prepara saturando el carbonato con ácido clorhídrico en caliente. El agua de cristalización no se evapora al calentar la sal y se verifica la reacción :

$$Cl_2Mg, 6H_2O \rightarrow MgO + 2ClH + 5H_2O$$

Esta reacción explica el ataque de las paredes de las calderas de vapor por el ácido clorhídrico, cuando se emplea agua, como la del mar, que contiene cloruro de magnesio. Se puede obtener anhidro calentándolo con cloruro amónico. Éste, dada su gran avidez por el agua, tiene que conservarse en frascos cerrados herméticamente. Se une con otros cloruros, dando sales dobles.

Óxido de magnesio o magnesia (MgO). — Este único óxido del magnesio forma un polvo blanco y ligero (D = 3,07) y se prepara por combustión del metal o por calcinación del hidróxido o del carbonato de magnesio.

El hidróxido magnésico se obtiene tratando una sal de magnesio con sosa o con potasa. La magnesia es muy poco soluble en el agua, una parte se disuelve en 5 000 partes de esta última, y funde solamente en el horno eléctrico. Ligeramente calcinada, da con el agua una masa blanca, compacta y muy dura, por lo que se emplea en las construcciones hidráulicas realizadas con cal preparada a partir de las dolomitas (carbonato de calcio y magnesio).

Sulfato de magnesio o sal amarga (SO_4Mg). — El sulfato de magnesio se encuentra en el agua de mar o en ciertas aguas minerales y, en forma de mineral, en la kieserita y la epsomita.

Se presenta a manera de agujas que contienen siete moléculas de agua. Tiene sabor amargo, se emplea como purgante y forma sulfatos dobles con los sulfatos de potasio y de amonio, por ejemplo SO_4Mg, SO_4K_2, $6H_2O$, que son isomorfos. Se conocen numerosos sulfatos dobles isomorfos, cuyas fórmulas difieren de la anterior sólo porque el magnesio está reemplazado por cinc, hierro, manganeso, cromo, níquel o cobalto.

Fosfato amónico-magnésico. — Los fosfatos de magnesio carecen de interés. Si se añade un fosfato alcalino a una sal de magnesio en solución amoniacal y se agita, se forma, al cabo de cierto tiempo, un precipitado cristalino [$PO_4Mg(NH_4)$, $6H_2O$], muy poco soluble en el agua.

Carbonato de magnesio (CO_3Mg). — Este carbonato existe en estado natural *(giobertita)*, cristalizado como el carbonato cálcico y, unido a este último, forma un mineral natural muy abundante llamado *dolomita*.

Es un polvo blanco, que se descompone por el calor, liberando anhídrido carbónico y formando óxido de magnesio. Lo atacan los ácidos. Si se vierte una disolución de un carbonato alcalino en una solución de una sal de magnesio, se obtiene un precipitado gelatinoso constituido por una mezcla de carbonato e hidróxido magnésicos [$3\,CO_3Mg$, $Mg(OH)_2$, $3\,H_2O$], que, al desecarse, se transforma en un polvo blanco muy ligero *(magnesia alba)*, utilizado para la fabricación de polvos de tocador y de productos dentífricos.

Calcio *(Ca = 40,08)*

El calcio se encuentra abundantemente en la Naturaleza en estado de carbonatos *(calcita, creta, aragonito, mármol)*, sulfatos *(yeso, anhidrita)*, fosfatos, silicatos, etc. También forma parte de ciertos tejidos orgánicos, como los huesos y caparazones.

Obtención y propiedades. — El calcio se obtiene por electrólisis de una mezcla de cloruro y fluoruro cálcico a 600 °C.

Es un metal ligero (D = 1,7), de color amarillo pálido, que se empaña al contacto del aire húmedo. Arde en el oxígeno al rojo y en una atmósfera de nitrógeno, dando el nitruro N_2Ca_3, que descompone el agua formando cal y amoniaco. Se disuelve en los ácidos clorhídrico y sulfúrico diluidos, desprendiendo hidrógeno. Con el plomo da una aleación muy dura, empleada como metal en los cojinetes.

Compuestos. — Los compuestos del calcio, que se reconocen por el color amarillo rojizo que dan a la llama del mechero Bunsen, se determinan, con mayor precisión, por medio del espectroscopio y se dosifican con el oxalato amónico.

Cloruro de calcio (Cl_2Ca). — El cloruro de calcio, que se prepara disolviendo la creta en ácido clorhídrico, se presenta en forma de cristales muy delicuescentes. Anhidro o fundido, sirve como agente deshidratante. Es muy soluble en el agua y su disolución provoca un descenso de la temperatura que puede ir de 0 °C a − 45 °C. Es soluble en alcohol absoluto. El cloruro cálcico hidratado (Cl_2Ca, $6\,H_2O$) cristalizado puede transformarse en anhidro por calentamiento a 200 °C, y el desecado a 700 °C puede colarse en placas (cloruro cálcico fundido).

El *bromuro* (Br_2Ca) y el *yoduro* (I_2Ca) son análogos, mientras que el *fluoruro* (F_2Ca), insoluble en el agua, existe en la Naturaleza cristalizado *(espatoflúor* o *fluorita)*.

Óxido de calcio o cal viva (CaO). — El óxido de calcio se prepara calcinando el carbonato, el hidróxido o el nitrato. Se obtiene industrialmente calcinando la caliza en hornos especiales de piedra de sillería *(caleras)* :

$$CO_3Ca \rightarrow CaO + CO_2$$

Se presenta como un polvo blanco, difícilmente fusible y poco estable al aire, que fija con gran energía el agua y el anhídrido carbónico procedente de ésta.

Hidróxido de calcio o cal apagada [$Ca(OH)_2$]. — Este hidróxido se obtiene al someter la cal viva a la acción del agua; primeramente se forma una pasta blanca que se transforma luego en un polvo del mismo color (cal apagada). Esta reacción produce gran desprendimiento de calor.

La cal, poco soluble en el agua *(agua de cal)* y cuya solución tiene reacción alcalina, se emplea en forma de suspensión, llamada *lechada de cal*, y tiene muchas aplicaciones (fabricación de morteros y de bujías, industria de curtidos, depilación de pieles).

CEMENTOS Y MORTEROS. — Los morteros son mezclas de cal y arena o grava, utilizadas para aglomerar las piedras en las construcciones. Los *morteros hidráulicos*, obtenidos calcinando mezclas de calizas y arcillas naturales o artificiales en la proporción de 40 partes de arcilla por 100 de cal, fraguan en el agua y se endurecen al cabo de cierto tiempo.

Los cementos son productos artificiales que fraguan al aire o en el agua. El más importante es el *cemento Portland*, que se obtiene calcinando una mezcla de 45 a 65 partes de arcilla por 100 de cal. En esta operación se desprenden agua y anhídrido carbónico y se forma una masa sólida, el *klinker*, que se pulveriza finamente. Este cemento comienza a endurecer al cabo de varias horas. A partir de las escorias de los altos hornos, se preparan los cementos llamados *de escoria*. La mezcla de cemento con grava constituye el *hormigón*.

HORMIGÓN Y CEMENTO ARMADO. — El hierro tiene la propiedad de poseer el mismo coeficiente de dilatación que el cemento. Por lo tanto, si se introducen varillas de hierro en la masa de cemento o de hormigón, una vez fraguado éste, el bloque resultante tendrá mayor solidez y no se producirán fenómenos de dislocación por efecto de las variaciones de temperatura. El cemento y el hormigón armados se emplean mucho en la construcción.

PUZOLANAS. — Las puzolanas, arcillas porosas de origen volcánico encontradas en los alrededores de Puzol (Italia), constituyen materias hidráulicas de gran calidad si se calcinan ligeramente y se mezclan con cales grasas.

Hipoclorito de calcio [$(ClO)_2Ca$]. — El hipoclorito de calcio se obtiene cristalizado [$(ClO)_2Ca$, $4\,H_2O$] por reacción del hipoclorito sódico con el cloruro de calcio. Cuando pierde el agua de cristalización, se presenta en forma de polvo blanco inestable al aire. Se emplea como desinfectante.

Más importancia tiene el producto comercial llamado *cloruro de cal*, mezcla de cal (CaO) e hipoclorito, empleado también como desinfectante. Puede ser atacado incluso por los ácidos débiles, con desprendimiento de cloro. Se prepara haciendo pasar una corriente de cloro sobre cal apagada :

$$2\,Ca(OH)_2 + 2\,Cl_2 \rightarrow (ClO)_2Ca + Cl_2Ca + 2\,H_2O$$

Sulfito de calcio (SO_3Ca). — El sulfito de calcio se emplea para la conservación de la cerveza, y el bisulfito [$(SO_3H)_2Ca$] sirve en la industria papelera, ya que disuelve la lignina de la madera.

Sulfato de calcio (SO_4Ca, $2\,H_2O$). — Este sulfato se encuentra en abundancia (yacimientos de yeso), formando grandes cristales monoclínicos, a veces de tipo gemelo de macla parecida a una flecha.

El sulfato casi anhidro (yeso en polvo) se obtiene calentando el yeso hidratado en hornos especiales de madera. El fuego ataca directamente el yeso, que forma bóvedas en la parte superior, y, sobre estos bloques, se amontonan fragmentos cada vez más pequeños de yeso hidratado, que se pulveriza cuando se deshidrata. Ama-

sado con agua, se solidifica poco a poco, porque el sulfato anhidro recupera el agua de cristalización. Se emplea en la construcción para la preparación de suelos, tabiques y techos, y también en escultura para moldear.

El sulfato cálcico es poco soluble en el agua. Las aguas naturales que lo contienen disuelto reciben el nombre de *selenitosas* y son nocivas para la salud cuando encierran más de 0,2 gramos de sulfato por litro.

Nitrato de calcio [$(NO_3)_2Ca$, $4H_2O$]. — Este nitrato, llamado también *nitro de Noruega* por ser empleado en este país como abono, es una sal delicuescente, muy soluble en agua y soluble en alcohol. Las eflorescencias que se forman en las paredes húmedas contienen nitrato cálcico.

Fosfatos de calcio. — El ácido ortofosfórico forma con el calcio varias combinaciones.

El *fosfato tricálcico* [$(PO_4)_2Ca_3$] constituye el ochenta por ciento de las cenizas de los huesos. Existe con gran profusión en la Naturaleza, especialmente en forma de *apatito* y *fosforita*. Reviste mucha importancia la explotación del *guano*, que se origina por los excrementos de ciertas aves depositados en las rocas calcáreas. En este producto, los nitratos acompañan a los fosfatos en muchos casos. Existen importantes zonas guaneras en los litorales de Perú, Chile e islas del Pacífico.

Los fosfatos se emplean como abono, pero las plantas los absorben lentamente, por lo que se les somete generalmente a un tratamiento preliminar que consiste en atacarlos con ácido sulfúrico para formar así una mezcla de mono y bifosfato cálcicos con sulfato cálcico, utilizada corrientemente en agricultura con el nombre de *superfosfato*.

Carbonato de calcio (CO_3Ca). — El carbonato de calcio, muy abundante en la Naturaleza, se presenta en masas compactas más o menos puras (piedras de construcción, piedra de cal, creta, mármol). Sus variedades naturales reciben el nombre de *calizas* y forman diferentes cristales : romboedros *(espato de Islandia* y *calcita)* y prismas rómbicos *(aragonito)*. Los cristales de espato de Islandia, muy puros y a veces de gran tamaño, provocan la doble refracción de los rayos luminosos. Esta propiedad, mucho más señalada que en los cristales de cualquier otro cuerpo, hace que se utilicen en numerosos instrumentos de Óptica.

Insoluble en el agua pura, el carbonato cálcico se disuelve ligeramente en las aguas que contienen anhídrido carbónico disuelto (formación de *estalactitas* y *estalagmitas*) y se descompone por el calor en cal y en anhídrido carbónico :

$$CO_3Ca \rightarrow CaO + CO_2$$

Lo atacan los ácidos, con efervescencia debida a la producción de anhídrido carbónico.

Sulfuro, hidruro y nitruro de calcio. — El sulfuro de calcio (SCa) se obtiene por calcinación de la cal en una corriente de sulfuro de hidrógeno. Se forma como subproducto en la preparación del carbonato sódico por el procedimiento Leblanc. Es fosforescente, por lo que se emplea para la fabricación de pinturas luminosas.

El hidruro de calcio (CaH_2) se forma por calentamiento del calcio metálico. Con el nombre de *hidrolita*, se emplea para obtener hidrógeno, por reacción con agua :

$$CaH_2 + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 2H_2$$

El nitruro de calcio (N_2Ca_3) se obtiene, por una reacción exotérmica, calentando el calcio en una corriente de nitrógeno. De color gris claro cuando es puro, reacciona con el agua caliente, dando hidróxido cálcico y amoniaco.

Carburo de calcio (C_2Ca). — Este compuesto tiene una importancia considerable en la industria (alumbrado, síntesis del alcohol y del ácido acético). Se obtiene calentando una mezcla de cal y carbón en el horno eléctrico :

$$CaO + 3C \rightarrow C_2Ca + CO$$

Tratado con agua, desprende acetileno :

$$C_2Ca + 2H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + C_2H_2$$

El acetileno originado en esta reacción tiene un olor aliáceo muy desagradable.

El carburo cálcico se presenta en forma de agujas cristalinas blancas. El producto industrial es gris, a causa de las impurezas que lo acompañan.

Cianamida de calcio (CN_2Ca). — La cianamida de calcio se forma por reacción del nitrógeno sobre el carburo cálcico a temperatura elevada :

$$C_2Ca + N_2 \rightarrow CN_2Ca + C$$

La mezcla de cianamida y del carbón resultante de la reacción se utiliza generalmente como producto industrial. La cianamida pura es blanca, pulverulenta, mientras que el producto industrial es negro, sirve de abono y reacciona con el agua del suelo dando amoniaco :

$$CN_2Ca + 3H_2O \rightarrow CO_3Ca + 2NH_3$$

Se emplea también para la obtención del cianuro sódico.

Estroncio *(Sr = 87,63)*

Propiedades y reconocimiento. — El estroncio es un elemento escaso que acompaña a veces a los minerales de calcio. Entre los compuestos naturales, los más importantes son el sulfato *(celestina)* y el carbonato *(estroncianita)*.

El estroncio se prepara por electrólisis del cloruro o por reducción con aluminio del óxido en caliente. Este metal es de color amarillo, un poco más oscuro que el calcio, brillante, ligero (D = 2,4), dúctil y maleable. Arde en el aire y descompone el agua.

Las sales de estroncio dan color rojo carmín a la llama del mechero Bunsen y el elemento se reconoce perfectamente en el espectro.

Principales compuestos. — El *óxido de estroncio* (SrO), obtenido por descomposición del nitrato, es una materia grisácea, porosa, que reacciona con el agua dando el hidróxido [$Sr(OH)_2$], empleado, en vez de la cal, para la extracción del azúcar de remolacha.

El *cloruro* (Cl_2Sr, $6H_2O$) y el *yoduro* (I_2Sr) se obtienen disolviendo el óxido de estroncio en los ácidos clorhídrico y yodhídrico.

El *sulfato de estroncio* (SO_4Sr), encontrado en la Naturaleza en forma de prismas azules *(celestina)*, sirve para preparar las demás combinaciones del estroncio. Al ser prácticamente insoluble, tiene que reducirse primero con carbón para obtener el sulfuro :

$$SO_4Sr + 2C \rightarrow SSr + 2CO_2$$

El *nitrato de estroncio* [$(NO_3)_2Sr$] se emplea en pirotecnia a causa de la hermosa coloración roja que produce al arder. Para preparar las bengalas rojas, se mezclan 40 partes de nitrato de estroncio, 13 partes de flor de azufre, 10 de clorato potásico y 4 de oxisulfuro de antimonio.

El *carbonato de estroncio* (CO_3Sr), isomorfo del aragonito (CO_3Ca), es insoluble y se descompone a temperatura elevada, dando óxido (SrO).

Bario *(Ba = 137,36)*

Obtención y propiedades. — El bario es poco abundante en la Naturaleza y se encuentra como sulfato *(espato pesado)* o carbonato *(witerita)*. Se obtiene por electrólisis del cloruro, operación en la cual el metal se deposita en el cátodo de mercurio con el que se amalgama y del que se separa luego por destilación.

Es un metal blanco plateado, bastante blando, más pesado que los anteriores (D = 3,75) y muy oxidable al aire, en el que arde con llama verde. Descompone el agua y funde a 85 °C.

Principales compuestos. — El *cloruro de bario* (Cl_2Ba, $2H_2O$) se prepara disolviendo el carbonato de bario en ácido clorhídrico. Forma cristales rómbicos, solubles en agua, pero pierde, a temperatura elevada, el agua de cristalización.

El *óxido de bario* o *barita* (BaO) se obtiene por calcinación del nitrato al rojo claro. Forma una masa blanca, utilizada como deshidratante.

El *hidróxido de bario* [$Ba(OH)_2$] se forma por reacción del óxido con el agua, pero generalmente se prepara por disolución del sulfuro de bario en agua. Se emplea para tratar el azúcar y constituye, en solución acuosa, el *agua de barita*.

El *peróxido de bario* (BaO_2), del que se conocen varios hidratos, se forma calentando el óxido de bario en una atmósfera de aire o por acción del agua oxigenada sobre la barita. Al calentarlo al rojo pierde oxígeno y regenera el óxido de bario; este proceso se puede repetir indefinidamente, lo que permite extraer el oxígeno del aire.

El *sulfato de bario* (SO_4Ba) existe en la Naturaleza *(espato pesado)* y constituye el principal mineral de este elemento. Se puede preparar por acción de un sulfato soluble sobre el cloruro de bario. Es un precipitado blanco, completamente insoluble en el agua, utilizado en análisis, para la dosificación del bario y del ácido sulfúrico, en pintura, en la industria del papel y como materia prima para la obtención de sulfuro de bario.

El *nitrato de bario* [$(NO_3)_2Ba$], preparado tratando el sulfuro de bario por el ácido nítrico, se emplea en pirotecnia para obtener fuegos artificiales verdes.

El *carbonato de bario* (CO_3Ba) se obtiene en estado natural *(witerita)* y como subproducto en las azucareras.

El *sulfuro de bario* (SBa) se forma en la reducción del sulfato con carbón, a temperatura elevada :

$$SO_4Ba + 4C \rightarrow SBa + 4CO$$

Esta reacción constituye el punto de partida para la obtención de numerosas sales de bario. Este sulfuro es un polvo blanco, que sirve para la preparación de *litopón* (mezcla de sulfuro de bario y sulfuro de cinc).

El *carburo de bario* (C_2Ba), obtenido en el horno eléctrico por calcinación del carbonato con carbón, se comporta de manera muy semejante al carburo de calcio.

Reconocimiento y determinación cuantitativa. — Las sales de bario dan color verde a la llama del mechero Bunsen. Es también muy sensible la reacción de precipitación de sulfato de bario, utilizada para la identificación y dosificación de este elemento.

Radio *(Ra = 226,05)*

Estado natural y obtención. — El radio se encuentra en los minerales de uranio, de los que se extrae por desintegración atómica. Fue descubierto y aislado en 1898 por los científicos franceses Pierre (1859-1906) y Marie CURIE (1867-1934).

Cada tonelada de uranio contiene 0,3 gramos de radio y esta proporción es aún menor en los minerales secundarios. Los minerales de radio más importantes son la *autunita* (fosfato), que se encuentra en Portugal, la *carnotita* (vanadato) y la *pechblenda* (óxido salino de uranio con mezcla de óxidos de plomo, torio, cerio, etc.).

La parte esencial del tratamiento consiste en la preparación final del radio y el bario por cristalización fraccionada de los cloruros. Esta operación es muy laboriosa. La extracción del radio es cada vez mayor en el mundo, a causa del desarrollo de la industria nuclear.

Propiedades químicas del radio y de sus sales. — El radio se conduce químicamente de manera muy parecida al bario, pero es más inestable que éste.

Los halogenuros se disuelven bien en el agua, y el sulfato es insoluble.

La propiedad más característica del radio es la de desdoblarse constante y espontáneamente en *emanación*, que recibe el nombre de *radón*, gas químicamente inerte perteneciente a la familia de los gases nobles, y en átomos de helio cargados de electricidad positiva, expulsados a gran velocidad (partículas α). En esta descomposición se originan también rayos β y γ.

Todos los efectos que resume el término *radiactividad* son la consecuencia directa de este desdoblamiento espontáneo y de la proyección de las radiaciones.

El efecto radiactivo es muy variado : destruye las células de los tejidos vivos, ioniza el aire, va acompañado de autoluminiscencia y provoca gran desprendimiento de calor. El radio tiene un poder bactericida considerable y se aplica en diversos tratamientos terapéuticos *(radioterapia)*.

El radio metálico fue aislado por electrólisis en 1910. Las sales de radio tiñen de rojo la llama del mechero Bunsen.

Berilio *(Be = 9,013)*

Obtención y propiedades. — El principal mineral del cual se extrae el berilio es el *berilo* ($6SiO_2$, Al_2O_3, $3BeO$), piedra preciosa que cristaliza en el sistema hexagonal y que se encuentra esencialmente en Brasil.

Este metal, de color blanco, maleable y ligero (D = 2,1), no descompone el agua, se disuelve en los ácidos diluidos, se combina con el cloro y con el yodo en caliente y se obtiene electrolizando una mezcla de fluoruro de berilio y bario.

Con el cobre forma aleacciones, llamadas *bronces de berilio*, utilizadas para la fabricación de muelles y hélices. Actualmente se emplea en la industria atómica como generador de neutrones.

Se le caracteriza por el precipitado cristalino de fosfato amonicoberílico.

Principales compuestos. — Los compuestos más conocidos de este metal son el *cloruro de berilio* (Cl_2Be), formado por agujas incoloras delicuescentes; el *óxido de berilio* (BeO), extraído de la esmeralda o berilo ($6SiO_2$, Al_2O_3, $3BeO$), que es un polvo blanco amorfo; el *hidróxido de berilio* [$Be(OH)_2$], preparado por precipitación de una sal de berilio con amoniaco, que es insoluble en el agua, se disuelve en las bases fuertes, dando, en este caso, berilatos, y también en los ácidos, por lo cual es *anfótero;* el *sulfato* y el *nitrato de berilio*, que son solubles en agua y dan soluciones ácidas; y el *carbonato de berilio*, que es insoluble.

18. — Metales térreos

Aluminio : Estado natural y obtención. Propiedades. *Acción del oxígeno. Acción de los ácidos.* Compuestos. *Cloruro de aluminio. Fluoruro de aluminio. Fluoruro doble de aluminio y sodio. Óxido de aluminio o alúmina. Hidróxido de aluminio. Sulfato de aluminio. Alumbres. Nitruro de aluminio. Carburo de aluminio. Silicatos.* Reconocimiento y determinación cuantitativa. — **Tierras raras** : Clasificación. Cerio. *Propiedades y aplicaciones.*

La serie de metales térreos comprende los elementos que siguen al boro en el grupo III *a* del sistema periódico. La basicidad de estos elementos es menor que la de los alcalinotérreos y aumenta al crecer el peso atómico; así, el boro, ya estudiado, y el aluminio forman boratos y aluminatos, mientras que los demás metales de la serie constituyen el catión de las sales.

En general son trivalentes; el aluminio tiene tres electrones en la capa exterior, mientras que los otros metales térreos suelen tener dos. Sin embargo, la capa inmediatamente próxima cuenta con nueve electrones, de los cuales cede uno, pasando de este modo a la estructura estable de octeto.

Aluminio *(Al = 26,98)*

Estado natural y obtención. — El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la Naturaleza, pero no en estado nativo. Su mineral más importante es la *bauxita* (Al_2O_3, $2H_2O$), cuyos yacimientos más productivos se encuentran en Guayana con casi la mitad de la cantidad total extraída en el mundo entero. Existe también en los silicatos *(feldespato, mica, hornblenda, arcilla y caolín)*, sulfatos *(alumbres)*, óxidos *(corindón)* y fluoruros de aluminio y de sodio *(criolita)*. Los vegetales no lo absorben.

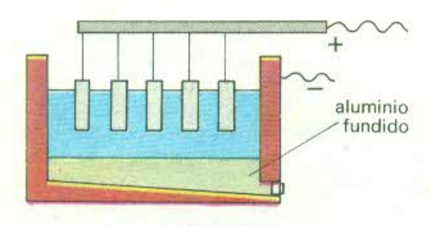


Fig. 30.

Método Hall para la obtención del aluminio.

El metal se obtiene industrialmente por el método Hall, en el aparato indicado en la figura 30. La cuba es de hierro revestido de carbón. Acercando los ánodos de carbón a las paredes interiores de la cuba, que actúan de cátodo, se funde primeramente la criolita, a causa de la elevada temperatura producida por los arcos que saltan entre las barras de carbón y el cátodo. Se elevan después los ánodos, se añade alúmina purificada y, entonces, comienza la electrólisis.

Los iones aluminio ($Al_2O_3 \rightarrow 2\ Al^{+++} + 3O^{=}$) emigran al cátodo y ganan electrones, formando aluminio metálico (punto de fusión 660 ºC), que es líquido a la temperatura del baño (900º-1 000 ºC). Aunque, a temperaturas ordinarias, la criolita (D = 3,00) es más densa que el metal (D = 2,7), a temperatura elevada lo es más éste, en estado líquido, que aquélla fundida. Esto hace que el aluminio se recoja en el fondo de la cuba, de donde sale por una piquera. Los iones oxígeno se descargan en los ánodos de carbón, que se oxidan y deben sustituirse con frecuencia. La criolita desempeña en este proceso el papel de medio ionizante, de modo semejante al realizado por el agua en las disoluciones de electrólitos.

Como es difícil purificar el aluminio, debe purificarse el óxido antes de la electrólisis. Para ello se calienta la bauxita con una disolución concentrada de hidróxido sódico y el óxido de aluminio se disuelve, mientras que el óxido férrico que lo impurifica permanece insoluble. Al diluir la disolución se precipita el hidróxido de aluminio, que se convertirá en óxido al desecarse.

Propiedades. — El aluminio es de color blanco azulado, fácil de pulir, el más ligero de todos los metales corrientes (D = 2,7), dúctil y maleable. Se puede reducir a hojas muy finas, como el oro y la plata, y estirar hasta formar alambres finos. Después de la plata y el cobre, es el mejor conductor de la electricidad y del calor. Posee una gran capacidad calorífica y se funde a 650 ºC.

A pesar del ataque lento que sufre por parte de los ácidos orgánicos, se puede emplear para fabricar utensilios de cocina, ya que sus sales carecen de toxicidad. Forma numerosas aleaciones : *bronces de aluminio*, con el cobre, *metal electrón*, con el magnesio, y *duraluminio*, con el magnesio, cobre y manganeso.

Acción del oxígeno. — El aluminio, a pesar de su avidez por el oxígeno, es aparentemente inalterable al aire, aunque, en realidad, se forma una fina película de óxido *(alúmina)* que protege las capas subyacentes contra toda oxidación ulterior.

Acción de los ácidos. — Los ácidos sulfúrico y nítrico atacan al aluminio en frío con gran dificultad, mientras que la reacción tiene lugar en caliente. El ácido clorhídrico actúa enérgicamente sobre el aluminio. Las disoluciones alcalinas disuelven este metal, desprendiendo hidrógeno y formando el aluminato correspondiente. La alúmina tiene carácter anfótero.

Compuestos. — *Cloruro de aluminio (Cl_3Al).* — Durante mucho tiempo se preparó el cloruro de aluminio mediante la acción del cloro seco sobre una mezcla de alúmina y carbón :

$$Al_2O_3 + 3C + 3Cl_2 \rightarrow 3CO + 2Cl_3Al$$

Actualmente se obtiene cada vez más por reacción del ácido clorhídrico gaseoso sobre el aluminio :

$$2Al + 6ClH \rightarrow 2Cl_3Al + 3H_2$$

Es una masa cristalina incolora, a menudo teñida de amarillo a causa de las impurezas de sales de hierro que la acompañan, soluble en el alcohol y en el éter, y fumante al aire, del que absorbe la humedad para dar un hidrato (Cl_3Al, $6H_2O$). Funde hacia 200 ºC y se emplea como agente de síntesis de compuestos orgánicos.

Fluoruro de aluminio (F_3Al). — El fluoruro de aluminio, obtenido por evaporación de la solución del aluminio en el ácido fluorhídrico, se presenta en forma de romboedros límpidos, insolubles en el agua e insensibles a la acción del ácido sulfúrico.

Fluoruro doble de aluminio y sodio (F_3Al, $3FNa$). — Este fluoruro doble, existente en estado natural *(criolita)* en Groenlandia, se emplea como fundente y en

la metalurgia del aluminio, dado el bajo punto de fusión que tiene.

Óxido de aluminio o alúmina (Al_2O_3). — El óxido de aluminio se halla en la Naturaleza en estado anhidro cristalino, generalmente coloreado por diversas impurezas. En estado de piedra preciosa es muy duro y las variedades más importantes que se conocen son el *corindón*, incoloro, más o menos puro; el *rubí oriental*, rojo, coloreado por el cromo; el *zafiro*, azul, coloreado por el cobalto; la *amatista oriental*, violeta; el *topacio oriental*, amarillo; y la *esmeralda oriental*, amarillo verdosa.

El óxido de aluminio se forma oxidando el metal en una corriente de oxígeno o por deshidratación del hidróxido $Al(OH)_3$. Este óxido, obtenido artificialmente, es un polvo blanco, insoluble en el agua y soluble en los álcalis fundidos. Se obtiene en forma cristalizada por medio de la fusión del óxido amorfo (piedras preciosas artificiales).

Hidróxido de aluminio [$Al(OH)_3$]. — El hidróxido de aluminio se prepara descomponiendo un aluminato alcalino por el agua :

$$AlO_3Na_2 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3NaOH$$

Se forma también precipitando en frío o en caliente una sal de aluminio con potasa. Por cualquiera de estos métodos se obtiene un precipitado blanco, gelatinoso e insoluble en el agua. Este compuesto es anfótero, o sea, tiene tanto propiedades ácidas como básicas, y, además coloidal.

Sulfato de aluminio [$(SO_4)_3Al_2$, $18H_2O$]. — El sulfato de aluminio se halla en la Naturaleza. Se prepara tratando con ácido sulfúrico la alúmina gelatinosa extraída de la bauxita o de las arcillas poco ferruginosas *(caolín)*, después de haberlas calcinado para insolubilizar el óxido de hierro que contienen. Se opera a 100 °C o a 150 °C y se concentra la solución decantada hasta que se obtenga la cristalización en escamas blancas. El sulfato de aluminio se disuelve muy bien en el agua.

Se emplea como mordiente en tintorería, para el encolado del papel y la obtención de alumbres.

Alumbres. — Los alumbres constituyen una clase importante de sales dobles cristalizadas en octaedros regulares que pueden cristalizar y subsistir en todas las proporciones en un mismo cristal *(isomorfismo)*.

El *alumbre de aluminio potásico* [$(SO_4)_3Al_2$, SO_4K_2, $24H_2O$] se puede obtener por adición de una solución concentrada y caliente de sulfato potásico sobre una solución de sulfato de aluminio. Cristaliza por enfriamiento.

También se puede preparar *(alumbre romano)* calcinando ligeramente la *alunita*, mineral que se encuentra en los alrededores de Roma ($3Al_2O_3$, K_2O, $4SO_3$, $6H_2O$), y recuperándolo por tratamiento con agua, que deja un precipitado de alúmina insoluble, después de disolver el alumbre. Éste cristaliza en octaedros voluminosos y límpidos y tiene una densidad de 1,9.

La solubilidad del alumbre aumenta con la temperatura : 100 partes de agua disuelven 3,9 de alumbre a 0 °C, 9,5 a 10 °C, 15,1 a 20 °C y 357,5 a 100 °C. A 92 °C funde en el agua de cristalización; a 100° pierde las 24 moléculas de agua; a temperatura más elevada se hincha y forma una masa esponjosa de alumbre calcinado, que se disuelve lentamente en el agua. Se descompone al rojo, quedando como residuo alúmina y sulfato potásico.

El alumbre, que tiene numerosas aplicaciones, sirve como mordiente de toda clase de fibras, vuelve imputrescibles las pieles (curtidos), endurece la gelatina en los trabajos fotográficos y es agente antiséptico y astringente en Medicina.

La fórmula general de los alumbres es

$$SO_4M_2(SO_4)_3X_2,\ 24H_2O$$

En ella M puede ser potasio, amonio, rubidio, cesio, talio o plata, y X aluminio, hierro, cromo o gadolinio.

Los alumbres de los metales alcalinos son incoloros, pero los de hierro y cromo son rosa y violeta, respectivamente.

Nitruro de aluminio (NAl). — El nitruro de aluminio, formado calentando aluminio en una atmósfera de nitrógeno, es un polvo blanco que reacciona con el agua dando amoniaco e hidróxido de aluminio :

$$NAl + 3H_2O \rightarrow NH_3 + Al(OH)_3$$

Carburo de aluminio (C_3Al_4). — Este compuesto en forma de cristales blancos, obtenido tratando el óxido de aluminio con carbón en el horno eléctrico, se descompone con el agua y produce metano.

Silicatos. — La descripción de estos compuestos corresponde a la mineralogía. Las *arcillas* y los *caolines* son silicatos de alúmina hidratados. La *greda* contiene de 5 a 6 por ciento de carbonato o de silicato de calcio, las *margas* son mezclas de arcilla y caliza, y los *feldespatos* son silicatos dobles de aluminio, potasio o sodio.

Reconocimiento y determinación cuantitativa. — Fundiendo una sal de aluminio con otra de cobalto, se obtiene una masa azul característica de $(CoO_4)Al_2$. Para la dosificación se pasa al hidróxido y de éste, por calcinación, al óxido, que se pesa.

Tierras raras

Reciben esta denominación los *lantánidos*, serie de elementos cuyo número atómico se extiende de 57 a 71, y los metales *escandio* e *itrio* que los acompañan en la Naturaleza. Todos ellos son trivalentes, pero el cerio, el terbio y el praseodimio pueden ser además tetravalentes, y el samario, el europio y el iterbio divalentes. El hecho de que una serie consecutiva de elementos tenga la misma valencia, como es el caso de los lantánidos, se explica por su estructura atómica : dos electrones en la capa exterior y nueve en la subyacente. Esta última pierde uno y adquiere una configuración estable.

Las sales de las tierras raras tienen la propiedad de precipitarse en forma de oxalatos cristalinos en soluciones ácidas. Los óxidos son básicos y las sales isomorfas, lo que explica la dificultad que se presenta cuando se intenta separarlos.

Clasificación. — Los primeros elementos de este grupo se descubrieron hacia 1 800. Para su estudio, se puede escoger la clasificación establecida por Berzelius.

Tierras de la cerita

	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	COLOR DE LAS SALES
Lantano	La	138,92	incoloras
Cerio	Ce	140,13	ceriosas : incoloras; céricas : anaranjadas
Praseodimio	Pr	140,92	verdes
Neodimio	Nd	144,27	violáceas
Samario	Sm	150,43	amarillas

Tierras de la itria

	SÍMBOLO	PESO ATÓMICO	COLOR DE LAS SALES
Escandio	Sc	44,96	incoloras
Itrio	Y	88,92	incoloras
Europio	Eu	152	—
Gadolinio	Gd	156,9	—
Terbio	Tb	158,93	—
Disprosio	Dy	162,46	—
Holmio	Ho	164,94	—
Erbio	Er	167,2	rosa oscuro
Tulio	Tm	168,94	incoloras
Iterbio	Yb	173,04	—
Lutecio	Lu	174,99	—

Esta división se basa principalmente en la diferencia de solubilidad de los sulfatos dobles de las dos series, diferencia que es solamente aproximada.

El elemento de número atómico 61, al que se denomina indistintamente *ilinio* o *promecio* (Il o Pm), parece haber sido descubierto recientemente. En algunos países se llama *casiopeo* (Cp) al *lutecio* (Lu).

Los principales minerales de las tierras raras son la *monacita*, fosfato complejo de cerio y lantano, la *cerita*, silicato complejo de cerio, calcio y hierro, la *gadolinita* y el *xenotim*, de los que se extraen las tierras de la itria.

Los metales no se pueden obtener por reducción del óxido con carbón, sino por electrólisis de los cloruros anhidros.

La separación de las tierras raras se efectúa por cristalización fraccionada. Los óxidos son fluorescentes. Los compuestos más solubles son los sulfatos, los cloruros y los nitratos; los carbonatos, en cambio, son muy insolubles.

Las tierras raras dan espectros de absorción y de emisión muy característicos, lo que facilita el reconocimiento de las mismas y su determinación cuantitativa.

La aplicación principal de estos elementos se relaciona con la industria nuclear (radiactividad artificial).

Se describirá solamente el cerio, por ser el elemento más importante de esta serie.

Cerio (Ce = 140,13). — El cerio se descubrió primero en la *cerita* (silicato hidratado de cerio) y luego en los óxidos de lantano y de didimio (este último comprende los elementos neodimio y praseodimio, muy difíciles de separar).

Propiedades y aplicaciones. — El cerio es el elemento más abundante en las tierras raras. Forma dos óxidos, a partir de los cuales se pueden obtener sales trivalentes, incoloras, y tetravalentes, anaranjadas. Estas últimas sirven en las determinaciones cuantitativas de oxidación-reducción.

El cerio metálico ha sido aislado, lo mismo que el lantano, el praseodimio, el neodimio y el samario, por electrólisis del cloruro anhidro Cl_3Ce. Es un cuerpo gris, de densidad 7,1, funde a 620 °C, descompone el agua en frío, forma un carburo (C_2Ce), parecido al carburo cálcico, y puede fijar hidrógeno cuando se calienta a 400 °C, dando un hidruro (CeH_2), cuerpo negro que se inflama espontáneamente al aire.

La dosis óptima de cerio en el manguito de incandescencia es de 1 por ciento de CeO_2 para obtener la máxima intensidad luminosa.

El *ferrocerio* de las piedras de los encendedores de bolsillo es una aleación de hierro y cerio, en la que este elemento, de propiedades pirofóricas, está en la proporción de 35 por ciento.

19. — Metales del grupo IV a

Titanio : Obtención, propiedades y reconocimiento. Principales compuestos. — **Circonio** : Obtención y propiedades. Principales compuestos. — **Hafnio.** — **Torio.**

Los metales de este grupo, que tienen muchas propiedades comunes con las tierras raras, son el *titanio*, el *circonio*, el *hafnio* y el *torio*.

Titanio *(Ti = 47,90)*

El titanio existe en la Naturaleza en forma de minerales como la *ilmenita* (óxido de hierro y titanio) y el *rutilo* (óxido de titanio). Se aisló por primera vez en 1825, por reducción del fluoruro de titanio.

Obtención, propiedades y reconocimiento. — El titanio, que se obtiene con dificultad reduciendo el cloruro fundido con un metal alcalino, tiene aspecto metálico, es quebradizo en frío y funde a una temperatura de unos 1 800 °C. Resiste a los ácidos, pero es atacado por el agua regia.

Este metal, debido a su densidad relativamente baja (4,50), su carga de ruptura, próxima a la del acero dulce, y su resistencia a los agentes de corrosión, se utiliza para fabricar algunas piezas de proyectiles, cohetes balísticos y fuselajes de aviones de reacción. Se emplea también químicamente o como elemento de adición en los aceros ordinarios (desoxidante), los aceros inoxidables (estabilizante de carburos), las aleaciones refractarias (aumento de la resistencia a la deformación), las aleaciones cúpricas (aumento de la desoxidación y afinación del grano) y las aleaciones de aluminio (depuración y afinamiento del grano). El titanio se emplea asimismo, a causa de sus transformaciones alotrópicas, para hacer gran número de aleaciones.

La solución acuosa de sales titánicas se vuelve amarilla cuando se vierte agua oxigenada en ella, la cual sirve para dosificar el titanio por calorimetría.

Principales compuestos. — El *tetracloruro de titanio* (Cl_4Ti) es un líquido incoloro que hierve a 136 °C y manifiesta gran avidez por el agua. Expuesto al aire, desprende abundantes vapores blancos de hidróxido de titanio, por lo que se emplea para producir nubes artificiales. Es uno de los cuerpos más fumígenos que se conocen.

El *dióxido de titanio* (TiO_2) existe nativo en el *rutilo* y en la *anatasa*. El óxido artificial, obtenido por precipitación, se emplea como pigmento blanco en pintura.

El titanio puede formar también sales trivalentes (cloruro y sulfato), que obran como reductoras.

Circonio *(Zr = 91,22)*

Obtención y propiedades. — El circonio se encuentra en minerales, entre los cuales el más importante es el *circón*, silicato natural de circonio, cuyos yacimientos están situados sobre todo en Australia, los Estados Unidos y Brasil.

Al igual que en el caso del titanio, hay que vencer grandes dificultades para obtener este metal, cuyas aplicaciones son muy limitadas (lámparas especiales). El circonio se presenta en forma de polvo negro metálico, con un punto de fusión muy próximo a 1 500 ºC, es bastante estable al aire seco y arde en cuanto se le calienta. Los ácidos sulfúrico y nítrico no lo atacan, pero se disuelve en el ácido fluorhídrico y en el agua regia.

Principales compuestos. — La *tierra de circonio* (ZrO_2), encontrada a veces nativa en la Naturaleza, es un polvo blanco poco fusible que los ácidos atacan con dificultad. Este óxido es el compuesto de circonio que tiene más aplicaciones : lapiceros de Nernst, ladrillos refractarios, vidrios y pinturas. Existen además *cloruro* y *fluoruro de circonio*, polvos cristalinos, y *sulfato*.

Hafnio *(Hf = 178,6)*

Descubierto por G. Urbain y aislado por Hevesy y De Coster, el hafnio es un elemento muy similar al circonio, en cuyos minerales se encuentra, y se separa difícilmente de él por cristalización fraccionada. Tiene pocas aplicaciones prácticas. El *sulfato* es muy estable.

Torio *(Th = 232,05)*

Descubierto por Berzelius en 1828, el torio se extrae de la *monacita*, fosfato complejo de tierras raras.

Se obtiene por electrólisis del tetracloruro de torio en forma de agujas cristalinas. Es un metal bastante pesado (D = 11,2) y estable al aire. El ácido nítrico lo ataca difícilmente, pero se disuelve en el ácido clorhídrico. Es el primer término de una serie radiactiva.

El principal compuesto del torio es el *tetracloruro de torio* (Cl_4Th), que cristaliza en agujas solubles en el agua. El *óxido* (ThO_2), polvo blanco muy estable, se forma en la calcinación de las sales volátiles.

Las sales de torio se reconocen por el precipitado característico de subfosfato (P_2O_6Th, $11\,H_2O$), que se obtiene con el subfosfato ácido de sodio.

20. — Metales del grupo V a

Vanadio : Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Niobio** : Niobio metálico. — **Tántalo.** — **Protactinio.**

Los metales de este grupo, compuesto por el *vanadio*, el *niobio*, el *tántalo* y el *protactinio*, son, en general, pentavalentes; sin embargo, el vanadio puede formar compuestos en los que manifiesta siete, cinco, cuatro, tres o dos valencias. Los cuatro elementos de la serie entran principalmente en el anión de las sales, ya que sus óxidos se comportan como anhídridos de ácido.

Vanadio *(V = 50,95)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El vanadio, muy abundante en la Naturaleza, aunque en concentraciones pequeñas, se halla en las bauxitas, arcillas y minerales de numerosos metales. El mineral de vanadio más importante es la *patronita*, que se encuentra exclusivamente en el Perú.

Este metal se obtiene en estado metálico reduciendo el cloruro de vanadio por el sodio o el hidrógeno, o a partir del óxido. Es blanco, cristalino, tiene una densidad de 5,7, funde a 1710 ºC, se combina con el oxígeno, cloro, nitrógeno y carbono y se disuelve en los ácidos minerales, excepto en el clorhídrico.

Se emplea en la fabricación de aceros, y sus óxidos se utilizan para la preparación del negro de anilina.

Principales compuestos. — Las combinaciones más importantes del vanadio son el *dióxido* (V_2O_2), polvo gris metálico, el *sesquióxido* (V_2O_3), polvo negro obtenido por reducción del óxido vanádico (V_2O_5) con carbón, el *óxido hipovanádico* (V_2O_4) y el *óxido pervanádico* (V_2O_7).

De todos los compuestos, los más estables y más importantes son aquellos en los que el vanadio se presenta como pentavalente. Este último forma *vanadatos* orto, meta y piro, que corresponden a las sales de los diferentes ácidos fosfóricos. Las sales alcalinas de los fosfatos son blancas. La acción del cloro sobre el vanadio metálico, o sobre sus óxidos, origina cloruros y oxicloruros de este metal.

Niobio *(Nb = 92,91)*

El niobio se encuentra junto al tántalo en la *colombita* o *niobita* (niobotantalato de hierro y manganeso), mineral que existe en estado nativo y muy diseminado.

El estudio de este metal es harto complicado, ya que va siempre acompañado por los ácidos titánico y wolfrámico, cerita, tierras de itria, etc., y es muy difícil separarlo.

Entre los principales compuestos se conocen un *protóxido* (NbO), un *dióxido* (NbO_2), y un *sesquióxido* (Nb_2O_3). Hay también dos *cloruros* (Cl_3Nb y Cl_5Nb) y un *oxicloruro* (Cl_3ONb).

Niobio metálico. — Tras varios intentos de otros científicos, el químico inglés sir Henry Enfield Roscoe (1833-1915) logró preparar el niobio reduciendo el pentacloruro por el hidrógeno. Actualmente se obtiene principalmente tratando el fluoruro de niobio con sodio.

De color gris acero y con una densidad de 12,7, este metal arde en el aire dando anhídrido (Nb_2O_3), es maleable, funde a 1 950 ºC y no lo atacan los ácidos nítrico y clorhídrico ni el agua regia. Se combina con el cloro al rojo, dando Cl_3Nb. Tiene pocas aplicaciones.

Tántalo *(Ta = 180,95)*

El tántalo o tantalio se encuentra en la *tantalita*, que no es más que una niobita en la que predomina el tántalo sobre el niobio.

Se obtiene de manera idéntica al vanadio y al niobio. Es muy denso (D = 16,6), dúctil, cuando está exento de óxido, elástico y tenaz. Funde a 2 000 ºC y hierve a una temperatura superior a 3 000 ºC. Entre los ácidos minerales, sólo le ataca el fluorhídrico. Sus compuestos son análogos a los correspondientes del niobio y existen varios *óxidos*, *cloruros* y un *oxicloruro* (Cl_3OTa).

Protactinio *(Pa = 231)*

Este elemento, descubierto en 1918, se forma en la transmutación radiactiva del uranio. Sus compuestos, de los cuales el más importante es el *óxido* de protactinio (Pa_2O_5), se obtienen a partir de los residuos insolubles de la extracción del radio. Su isótopo 231 se desintegra espontáneamente produciendo una partícula alfa y actinio.

21. — Metales del grupo VI a

Cromo : Obtención, propiedades y aplicaciones. Compuestos. *Cloruro crómico. Oxigenados. Cromatos. Dicromato de potasio. Dicromato de sodio. Sales oxigenadas.* — **Molibdeno :** Obtención y propiedades. — **Wolframio :** Obtención y propiedades. — **Uranio :** Obtención y propiedades.

Estos metales *(cromo, molibdeno, wolframio* y *uranio)*, con la valencia VI, la más estable, forman parte del anión de las sales y solamente el uranio puede constituir un catión hexavalente. Presentan carácter metálico cuando tienen otros grados de valencia.

Cromo *(Cr = 52,01)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El mineral más utilizado para la extracción del cromo es la *cromita* o *hierro cromado* (Cr_2O_3, FeO), que se presenta cristalizado con un color pardo o negro. Se obtiene mediante reducción del óxido (Cr_2O_3) con carbón en el horno eléctrico o reduciendo el óxido con granalla de aluminio. Es un metal, de color gris acero, brillante y con una densidad de 6,92, que funde a 1 600 ºC. No se oxida al aire a la temperatura ordinaria. Los ácidos lo atacan difícilmente. Entra en la composición de ciertos aceros especiales y se suele utilizar en distintos tipos de aleaciones.

Compuestos. — *Cloruro crómico (Cl_3Cr).* — El cloruro crómico se obtiene enviando una corriente de cloro seco sobre una mezcla de óxido de cromo y carbón. En este caso es anhidro y forma escamas de color rosa, que, hidratándose, se disuelven muy lentamente en el agua hirviendo.

Oxigenados. — Se conocen, entre los compuestos oxigenados, el *protóxido* (CrO), el *sesquióxido* (Cr_2O_3), el *óxido salino* (Cr_3O_4) y el *anhídrido crómico* u *óxido crómico* (CrO_3). Solamente tienen cierto interés el sesquióxido y el anhídrido.

El sesquióxido forma cristales romboédricos de color verde negruzco, que se pueden obtener por fusión del dicromato con azufre. Le corresponden dos modificaciones de hidratos, verdes y violeta, obtenidos por precipitación de dos tipos de sales mediante amoniaco. Se utiliza para decorar la porcelana. El hidróxido se obtiene añadiendo amoniaco a una solución de cloruro crómico.

El anhídrido crómico u óxido crómico, preparado por la acción del ácido sulfúrico sobre el dicromato potásico, se presenta formando agujas de color rojo vivo. Tiene una densidad de 2,7, funde a 193 ºC, dando un líquido rojo oscuro, y es muy soluble en el agua y delicuescente. Las soluciones se emplean como oxidantes. El óxido crómico, si se calienta al rojo, se descompone en sesquióxido y oxígeno. Se disuelve en el agua formando ácido crómico, de color amarillo :

$$CrO_3 + H_2O \rightarrow CrO_4H_2$$

Cromatos. — Los cromatos son todos de color amarillo. Los principales son el *cromato de sodio* (CrO_4Na_2, $10\,H_2O$), el *cromato de plata* (CrO_4Ag_2), el *cromato potásico* (CrO_4K_2) y el *cromato de plomo* (CrO_4Pb).

Dicromato de potasio ($Cr_2O_7K_2$). — Este compuesto del cromo, que sirve para preparar todos los demás, se obtiene industrialmente calcinando en un horno de reverbero una mezcla pulverizada de hierro cromado, salitre y carbonato pótasico. La masa así formada se trata con agua y se acidula con ácido acético antes de filtrarse para separar la sílice y la alúmina. El cromato neutro primeramente constituido, se transforma en dicromato, que se deja cristalizar. Éste se presenta en forma de cristales prismáticos de color amarillo rojizo, que funden antes de llegar al rojo. Si se calienta con ácido sulfúrico, desprende oxígeno, por lo que esta mezcla se emplea como agente oxidante.

Dicromato de sodio ($Cr_2O_7Na_2$, $2H_2O$). — El dicromato de sodio, que es una sal higroscópica fácilmente soluble en agua, se obtiene de igual manera que el de potasio y, por ser menos oneroso, tiende a reemplazar a éste en sus aplicaciones.

Sales oxigenadas. — Se conocen las sales cromosas y las sales crómicas, que pueden existir en las variedades de sales verdes o violeta.

El *sulfato cromoso* (SO_4Cr, $7\,H_2O$) es isomorfo del sulfato ferroso. El *sulfato crómico* [$(SO_4)_3Cr_2$, $12\,H_2O$] forma cristales de color violeta, higroscópicos y solubles en agua.

Molibdeno *(Mo = 95,95)*

Obtención y propiedades. — El molibdeno y los compuestos que forma se extraen de la *molibdenita* (S_2Mo) y, en menor cantidad, de la *wulfenita* (MoO_4Pb).

El óxido anhidro MoO_3, que se reduce en corriente de hidrógeno al rojo, se obtiene por tostaciones sucesivas de la molibdenita. El molibdeno resultante es pulverulento. Este metal, de densidad 10,2, es dúctil, funde a una temperatura próxima a 2 500 ºC y arde, dando trióxido, en una atmósfera de oxígeno. Los aceros hechos con él son muy resistentes al ataque de los agentes químicos.

El molibdeno forma compuestos en los que entra como bi, tri, tetra, penta y hexavalente. Tiene numerosos óxidos, entre los cuales los principales son el de fórmula MoO_2 y el *anhídrido molíbdico* o *ácido molíbdico* (MoO_3). La propiedad más característica de este último es la de unirse a otros muchos ácidos para dar sales muy estables, como los *fosfomolibdatos*.

Wolframio *(W = 183,92)*

Obtención y propiedades. — El wolframio o volframio, llamado también *tungsteno*, fue descubierto en 1870 por el español Fausto de ELHÚYAR (1757-1833) y un año más tarde por el químico sueco Carl Wilhelm SCHEELE (1742-1786). Un compatriota de este último, Torbern Olof BERGMAN (1735-1784), lo aisló en 1782. Los principales productores de este metal son China, Birmania, Bolivia, Perú, Brasil, Argentina, España, Estados Unidos, Corea y Portugal.

Los minerales más importantes del wolframio son la *wolframita* (wolframato de hierro y manganeso) y la *scheelita* (wolframato de calcio).

La wolframita, después de haber sido separada por métodos electromagnéticos y concentrados, se trata químicamente con el carbonato de sodio para eliminar de este modo las impurezas (azufre, arsénico, fósforo, sílice). Posteriormente se descompone el wolframato con ácido clorhídrico para obtener óxido wolfrámico, que se reduce a continuación con hidrógeno a 1 200 °C o con carbón de leña a 1 400 °C. El wolframio, en el primer caso, se presenta en forma de barras y, en el segundo, en estado pulverulento.

Este metal es de color blanco estañoso, de densidad elevada (19,2), funde a una temperatura superior a los 3 660 °C y resiste a la acción de los ácidos, aunque es atacado por el cloro, con el que da el cloruro WCl_6.

Puede actuar como bi, tri, tetra, penta y hexavalente. Entre los compuestos más importantes están aquellos en los que el metal tiene valencia 6. Merece mencionarse el *anhídrido wolfrámico* (WO_3), que da con los álcalis los *wolframatos*, sales del ácido wolfrámico normal (H_2WO_4) o de otros ácidos condensados.

El wolframio se emplea en estado puro, dada su gran resistencia al calor y eléctrica, en la fabricación de filamentos y otros elementos de lámparas de incandescencia y termoiónicas, de resistencias y de anticátodos para tubos de rayos X y, en aleación con el acero, para fabricar herramientas.

Uranio *(U = 238,07)*

Obtención y propiedades. — La mayor parte del uranio se extrae de la *pechblenda*, óxido de uranio asociado a otros cuerpos, que contiene de 55 a 80 por ciento de este metal. También se encuentra en la *carnotita* (urovanadato cálcico). Los principales yacimientos se hallan en Estados Unidos, Canadá, Zaire, U. R. S. S., África del Sur y algo en Francia, Gabón, España, Portugal, Venezuela, Perú, Brasil, Colombia y Australia.

La calcinación del uranato amónico da el óxido U_3O_4, que, reducido en el horno eléctrico, conduce a la obtención del metal en estado impuro, con muchos vestigios de carburo. El uranio metálico se asemeja por su aspecto al níquel, arde a 170 °C, produce chispas al ser sometido a choques, fija el nitrógeno hacia 1 000 °C, transformándose en nitruro, es muy estable a la temperatura normal y resiste a la acción de los ácidos y de las bases. Es muy denso (D = 18,7), constituye el elemento natural de mayor masa atómica y es el origen de los cuerpos radiactivos. Forma compuestos tri, tetra, penta y hexavalentes, entre los cuales solamente son estables los tetravalentes y hexavalentes.

Los principales compuestos del uranio son el *dióxido de uranio* (UO_2), que se obtiene al reducir los óxidos por el hidrógeno, el *trióxido de uranio* (UO_3), que forma un polvo amarillo, el *carburo de uranio* (C_2U) y los *peruranatos*, que corresponden al óxido de fórmula UO_4.

La aplicación más importante del uranio y sus derivados se relaciona con la industria de la energía atómica.

22. — Metales del grupo VII a

Manganeso : Obtención, propiedades y reconocimiento. Principales compuestos. — **Renio.** — **Tecnecio.**

De los tres elementos que componen este grupo, se conocen bien el *manganeso* y el *renio;* la existencia del tercero, el *tecnecio*, que ocupa el número atómico 43, es hipotética. Los dos primeros son capaces de formar compuestos, en los que intervienen con diversas valencias. Cuando actúan como heptavalentes y hexavalentes, forman parte del anión (ácidos). En los demás casos, tienen carácter metálico.

Manganeso *(Mn = 54,94)*

Obtención, propiedades y reconocimiento. — El manganeso se encuentra en varios minerales, principalmente silicatos, como la *rhodonita*, u óxidos, como la *pirolusita* (MnO_2), la *braunita* (Mn_2O_3), la *manganita* (MnO, OH) y la *hausmanita* (Mn_3O_4).

Se obtiene por un solo procedimiento que consiste en tratar el óxido Mn_3O_4 por el aluminio.

Es un metal gris, duro, quebradizo, de densidad 7,1, que se oxida por el calor o en atmósfera húmeda y descompone el agua. Los ácidos lo atacan fácilmente. Se emplea en metalurgia como ferromanganeso.

Las sales de manganeso producen una coloración verde característica cuando se funden con carbonato sódico y nitrato potásico, porque se forma, en este caso, manganato sódico (MnO_4Na_2).

Principales compuestos. — Se estudian a continuación los principales compuestos del manganeso.

El *cloruro manganoso* (Cl_2Mn) se presenta en forma de cristales de color rosa y se obtiene tratando el dióxido (MnO_2) con ácido clorhídrico.

El *óxido manganoso* (MnO), obtenido por calcinación del carbonato en ausencia de aire, forma una masa verdosa e inalterable al aire.

El *óxido mangánico* (Mn_2O_3), encontrado en la Naturaleza en estado anhidro *(braunita)* o hidratado *(acerdesa)*, se obtiene por acción del cloro sobre una suspensión de carbonato manganoso en agua.

El *dióxido de manganeso* (MnO_2), existente en la Naturaleza *(pirolusita)*, pierde parte del oxígeno, si se calienta al rojo :

$$3\,MnO_2 \rightarrow Mn_3O_4 + O_2$$

El dióxido hidratado y los manganitos, sales derivadas del dióxido de manganeso, actúan como oxidantes y se emplean para desecar aceites.

Al *anhídrido mangánico* (MnO_3), desconocido en estado libre, le corresponde un hidrato (MnO_4H_2), cuyas sales, verdes, son solamente estables en medio fuertemente alcalino.

El *anhídrido permangánico* (Mn_2O_7), líquido negro verdoso, detona a 40 °C y es un oxidante enérgico.

El *permanganato potásico* (MnO_4K) se prepara calentando en un crisol de tierra refractaria dióxido de manganeso con potasa caústica y la masa obtenida así se disuelve en agua y se hace pasar por esta solución una corriente de anhídrido carbónico. Este compuesto forma cristales de color violeta oscuro, casi negros, con reflejos verdosos y brillo algo metálico, y posee un gran poder oxidante sobre las materias orgánicas, por lo que se usa como antiséptico.

El *sulfato manganoso* (SO_4Mn) se forma tratando en caliente un óxido cualquiera de manganeso con ácido sulfúrico.

El *carbonato manganoso* (CO_3Mn), preparado tratando una sal manganosa con una solución de carbonato sódico, es un polvo blanco insoluble en el agua.

Renio *(Re = 186,31)*

El renio se obtiene mediante la reducción del bisulfuro S_2Re con hidrógeno. Este elemento no tiene menas propias, sino que se halla asociado en pequeñas proporciones a otros metales, como el cobre y el molibdeno.

Es un metal blanco brillante, muy pesado (D = 21,4), difícilmente fusible. Se disuelve en los ácidos nítrico y sulfúrico. Se emplea en varias aleaciones, asociado al wolframio, así como en los laboratorios, actuando de catalizador en reacciones de oxidación e hidrogenación.

Forma combinaciones tri, tetra, penta, hexa y heptavalentes.

Tecnecio *(Tc = 99)*

El tecnecio, llamado también *masurio*, no existe en la Naturaleza, pero sus isótopos se pueden obtener, en cantidades muy pequeñas, de modo artificial. Es un metal gris esponjoso, con una densidad de 11,5. Uno de los isótopos, de masa 99, es un subproducto de la fusión en los reactores nucleares. Actualmente continúan los experimentos acerca de las posibles aplicaciones de este metal y de sus derivados.

23. — Metales del grupo VIII

Hierro : Estado natural y obtención. Propiedades y aplicaciones. Compuestos. *Cloruros y sulfuros. Óxidos. Sales.* — **Cobalto :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Níquel :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Platino :** Estado natural, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Iridio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Osmio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Paladio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Rodio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Rutenio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos.

En este grupo pueden distinguirse los elementos del hierro *(hierro, cobalto* y *níquel)*, que son polivalentes, y los elementos del platino *(platino, iridio, osmio, paladio, rodio* y *rutenio)*, que tienen numerosas propiedades comunes y estrechas relaciones de isomorfismo. Todos ellos presentan un acusado carácter metálico.

Hierro *(Fe = 55,85)*

Estado natural y obtención. — El hierro es conocido desde la Antigüedad, debido a la facilidad con la que sus óxidos pueden reducirse por medio del carbón. El símbolo deriva del nombre latino *ferrum*.

El hierro, que entra en la mayor parte de las sustancias minerales, vegetales y animales, se obtiene fácilmente a partir de los óxidos como la *magnetita* (óxido de hierro magnético, Fe_3O_4), de la que puede extraerse un 72 por ciento de hierro, el *oligisto* (óxido férrico, Fe_2O_3), con su variedad la *hematites*, y la *limonita* (sesquióxido de hierro hidratado, $2\,Fe_2O_3,\ 3\,H_2O$). También constituye otra mena digna de interés el carbonato de hierro (CO_3Fe), mineral que lleva el nombre de *siderosa*.

La metalurgia del hierro consiste en la reducción del óxido por medio del carbón. Este último se combina con el oxígeno y así queda libre el mineral :

$$Fe_2O_3 + 3\,C \rightarrow 3\,CO\uparrow + 2\,Fe$$

El óxido de carbono que se produce en la primera reacción sirve para reducir nuevas cantidades de óxido férrico :

$$Fe_2O_3 + 3\,CO \rightarrow 3\,CO_2\uparrow + 2\,Fe$$

Propiedades y aplicaciones. — El hierro es un metal blanco grisáceo, dúctil, maleable y muy tenaz. Funde a 1 500 °C y, antes de llegar a esta temperatura, se ablanda, por lo que puede trabajarse con el martillo en el yunque. Tiene una densidad media de 7,80. Es inalterable al aire y en el oxígeno, pero con la humedad se forma una capa de sesquióxido hidratado, que se evita cubriendo el hierro con una capa de estaño *(hojalata)*, de cinc *(hierro galvanizado)* o de una pintura a base de minio (óxido de plomo).

Se combina con todos los no metales, excepto el nitrógeno. Al ser atacado por los ácidos, se disuelve, con desprendimiento de hidrógeno. Unicamente no le ataca el ácido nítrico.

El hierro, por las numerosas aplicaciones que tiene, es un metal de gran importancia. La elaboración de las distintas clases de fundición se realiza en gigantescos complejos siderúrgicos, donde el hierro bruto *(arrabio)* se transforma en acero, y éste, a su vez, en productos industriales : laminados, perfiles, trefilados, piezas de forja, etc. Las propiedades magnéticas que posee se aprovechan también para la fabricación de electroimanes, motores eléctricos y transformadores.

Compuestos. — *Cloruros y sulfuros.* — Calentando el hierro al rojo, en presencia de una corriente de cloruro de hidrógeno, se obtiene el *cloruro ferroso* (Cl_2Fe), que forma cristales hexagonales de color blanco, muy solubles en el agua. El *cloruro férrico* (Cl_3Fe) se prepara enviando una corriente de cloro seco sobre el hierro calentado al rojo. Cristaliza en hojuelas de color pardo, también muy solubles en agua.

Si se funden conjuntamente azufre y limaduras de hierro, se produce *sulfuro ferroso* (SFe), compuesto que sirve en los laboratorios para la preparación del sulfuro de hidrógeno. El *bisulfuro de hierro* (S_2Fe), que abunda en la Naturaleza con el nombre de *pirita de hierro*, se utiliza para la obtención del anhídrido sulfuroso.

Óxidos. — Ya se ha indicado la existencia en la Naturaleza del *óxido férrico* (Fe_2O_3) en forma de oligisto o hematites, pero también se puede obtener anhidro si se descompone el sulfato ferroso o el férrico por el calor. Consiste entonces en un polvo rojo muy fino que se emplea para pulir el vidrio o los metales y en la fabricación de pinturas. El *óxido ferroso* (FeO) se prepara reduciendo un óxido superior, y el *óxido ferroso férrico* (Fe_3O_4) o *magnetita* tiene la propiedad de atraer al hierro, por lo que se le llama también *óxido magnético*.

Sales. — Las sales oxigenadas del hierro forman dos series : las *ferrosas*, en las que el elemento funciona como divalente, y las *férricas*, en las que lo hace como trivalente.

El *sulfato ferroso* (SO_4Fe) se prepara industrialmente a partir de las piritas de hierro, por oxidación, o bien por la acción del ácido sulfúrico sobre desperdicios de hierro. Tiene un gran poder reductor y se utiliza como desinfectante, además de ser excelente mordiente en tintorería.

El *sulfato férrico* [$(SO_4)_3Fe_2$] se obtiene por oxidación de una disolución del anterior y se emplea para desinfectar las aguas industriales, alcantarillas y pozos negros.

Cobalto *(Co = 58,04)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. El cobalto existe en la Naturaleza combinado con otros elementos. Se extrae esencialmente de la *esmaltina*, arseniuro de plata y cobalto, y de la *cobaltina*, sulfuro doble de níquel y cobalto. Se obtiene, de modo similar al hierro, por reducción de los óxidos correspondientes en presencia de carbono o aluminio, y por procedimientos electrolíticos, que proporcionan una pureza del 99,5 por ciento.

Es un metal de color blanco plateado, más duro que el hierro magnético y con una densidad de 8,6. Funde a 1 495 °C y permanece inalterable a las temperaturas ordinarias.

Se utiliza en la industria atómica, en Medicina, donde se aprovechan las radiaciones de un isótopo *(radiocobalto 60)* para destruir los tumores malignos, y en la producción de pigmentos suministrados por algunas de sus sales *(azul de cobalto)*.

Principales compuestos. — El cloruro de cobalto (Cl_2Co) se obtiene por la acción del cloro sobre el cobalto en polvo y se presenta en forma de hojuelas azules. Se conocen tres óxidos : *cobaltoso* (CoO), *cobáltico* (Co_2O_3) y *cobaltoso cobáltico* (Co_3O_4).

Existen asimismo dos series de sales, *cobaltosas* (las más estables) y *cobálticas*, y las *aminas*, formadas por la combinación del cobalto con el amonio.

Níquel *(Ni = 58,69)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El níquel existe en la Naturaleza en estado de *arseniuro*, como silicato de magnesio y níquel *(garnierita)* y combinado con el hierro y cobre en la *pirrotina*.

Puede obtenerse mediante tostación de la garnierita, tratada luego con carbón y caliza. El producto resultante se afina por electrólisis o se reduce por medio del carbón de leña.

Este metal es de color blanco brillante, dúctil, maleable, más duro que el hierro magnético (D = 8,5), inalterable en el aire y se pule muy fácilmente. Descompone el agua cuando se calienta al rojo y se combina con el óxido de carbono a 60 °C, dando el *níquel tetracarbonilo* [$Ni(CO)_4$], que detona al calentarse.

Sirve para la fabricación de utensilios domésticos, para numerosas aleaciones y para revestir con una capa anticorrosiva la superficie de varios metales *(niquelado)*.

Principales compuestos. — Entre los compuestos de este metal pueden señalarse el *cloruro de níquel* (Cl_2Ni), obtenido al calentar níquel en una corriente de cloro, el *óxido niqueloso* (NiO), que se encuentra en el mineral llamado *bunsenita*, el *óxido niquélico* (Ni_2O_3), polvo negro que por el calor pierde oxígeno y se descompone en el anterior, y el *óxido niqueloso niquélico* (Ni_3O_4), al que se llega por la acción del oxígeno sobre el níquel a la temperatura de 400 °C.

Entre las sales cabe destacar el *sulfato de níquel* (SO_4Ni), estable en el aire, isomorfo de los sulfatos de hierro y magnesio.

Platino *(Pt = 195,23)*

Estado natural, propiedades y aplicaciones. — El mineral de platino se compone de granos irregulares de platino nativo, mezclados con pajuelas de osmiuro de iridio, arena y ciertos compuestos de hierro y titanio, además de rodio, rutenio, hierro y cobre. Se encuentra principalmente en Colombia, México y U. R. S. S.

El platino es un metal dúctil, maleable, de color gris, muy pesado (D = 21,2) y fusible al soplete a 1 780 °C. No se oxida y es insoluble en los ácidos sulfúrico, clorhídrico y nítrico, pero soluble en agua regia.

Se utiliza para fabricar aparatos de laboratorio, que pueden someterse a temperaturas elevadas sin alterarse. Con el cobre forma una aleación empleada por los joyeros y dentistas *(oro duro)*. Con el iridio, en una proporción de 10 a 20 por ciento, da aleaciones que pueden trabajarse como el hierro. Es un conocido catalizador *(esponja de platino)*.

Principales compuestos. — Los principales compuestos son el *cloruro platínico* (Cl_4Pt), que se prepara disolviendo el platino en agua regia, el *cloruro platinoso* (Cl_2Pt), que se obtiene calentando el cloruro platínico al perder éste cloro, el *óxido platinoso* (PtO) y el *óxido platínico* (PtO_2).

Iridio *(Ir = 192,2)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El iridio, obtenido a partir del osmiuro de iridio que queda tras haber extraído el platino, es un metal blanco brillante cuando está fundido. Sus propiedades son parecidas a las del platino : es duro, tiene una densidad de 22,4 y funde a 1 950 °C. Es inatacable por los ácidos concentrados e incluso por el agua regia, pero se disuelve en una mezcla de nitrato potásico y potasa o en el bisulfito potásico fundido.

En estado puro, este metal tiene pocas aplicaciones. Se emplea sobre todo en la fabricación de crisoles que deben soportar una elevada temperatura y, aleado con el platino (platino iridiado), se utiliza para pesos y medidas de alta precisión, como los patrones internacionales del metro y del kilogramo. El oro iridiado es la aleación ideal para las plumillas estilográficas.

Principales compuestos. — Entre los principales compuestos, se conocen varios cloruros, que dan con los cloruros alcalinos los *cloroiriditos* y *cloroiridatos*, así como distintos óxidos, sulfitos y otras sales. Los *iridatos* derivan del óxido de iridio. También existen algunos compuestos amoniacales, obtenidos por la acción directa del amoniaco sobre el cloruro de iridio.

Osmio *(Os = 190,2)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El osmio se encuentra también asociado al platino en las mismas menas y se puede separar porque posee un peróxido volátil.

Este metal (D = 22,5), de bello color azul y muy duro, funde a los 2 500 ºC, es inatacable por todos los ácidos y por el agua regia, pero puede disolverse, previamente dividido, en los ácidos clorhídrico y sulfúrico concentrado y en caliente. La principal cualidad química que tiene es la de transformarse fácilmente en un óxido volátil (OsO_4).

Las aplicaciones del osmio son casi las mismas que las del iridio : plumillas estilográficas inalterables, contactos eléctricos, piezas resistentes al desgaste, etc.

Principales compuestos. — El cloro reacciona en caliente con el osmio y da Cl_2Os y Cl_4Os. Son numerosos los compuestos oxigenados, entre ellos el *trióxido* (OsO_3), que no existe en estado libre y del que se derivan las sales llamadas *osmiatos*, y el *peróxido* (OsO_4), sólido blanco de fuerte olor y muy corrosivo, que es el más importante de todos y se forma cada vez que el osmio o uno de los compuestos de este metal se encuentra sometido a un proceso oxidante.

Paladio *(Pd = 106,7)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El paladio se encuentra también en la mena del platino, del que puede separarse por vía seca (reducción por el hidrógeno del cloropaladito de amonio) o por vía húmeda (reducción, en presencia de un álcali, del cloruro paladioso por medio del formaldehído).

El paladio se asemeja bastante a la plata por sus cualidades físicas. Funde a 1 500 ºC, es muy maleable y tiene una densidad media de 11,80, según esté más o menos batido. Se oxida al calentarlo en el aire, cubriéndose con una capa, es soluble en el ácido nítrico, lo ataca el agua regia y posee la propiedad de absorber unas mil veces su volumen de hidrógeno.

Sirve, en aleación con cobre o plata, para la fabricación de contactos y resistencias eléctricas y, en otras diferentes combinaciones, se utiliza en prótesis dental, relojería y joyería. En los laboratorios se emplea como catalizador en las reacciones de hidrogenación.

Principales compuestos. — Además de los compuestos *paladiosos* y *paládicos*, más estables los primeros que los segundos, se conocen tres óxidos, tres cloruros y otros varios formados por el amonio.

Rodio *(Rh = 102,91)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El rodio pertenece también a la mena del platino y se obtiene por reducción o por electrólisis de los cloruros.

Este metal, que se asemeja bastante al aluminio, es dúctil, maleable al rojo, funde hacia los 2 000 ºC, tiene una densidad de 12,1 y no lo atacan los ácidos ni tampoco el agua regia.

Se utiliza para revestir crisoles, en la fabricación de espejos y en radiotecnia (transistores). En aleación con el platino, constituye la esponja catalizadora de los laboratorios. En la industria eléctrica se usa para resistencias y contactos, mientras que en cerámica sirve para fijar los motivos ornamentales a base de oro.

Principales compuestos. — Solamente se conoce un *cloruro* (Cl_6Rh_2), anhidro e insoluble. El *sesquióxido* (Rh_2O_3) es un polvo gris negruzco, del cual se derivan algunas sales oxigenadas : sulfato, nitrato, nitrito. También existen compuestos amoniacales.

Rutenio *(Ru = 101,1)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El rutenio, metal muy raro de la mena del platino, se separa de los otros componentes gracias a la volatilidad de su peróxido (RuO_4).

Es de aspecto análogo al platino, de densidad 11,0 y funde a unos 2 450 ºC. Inoxidable al aire, a temperaturas normales, se oxida a temperaturas elevadas. No lo atacan los ácidos y sus mezclas, pero sí lo hacen el cloro en caliente así como el salitre y la potasa fundidos. Las propiedades químicas que tiene se asemejan a las del estaño.

Este elemento tiene pocas aplicaciones; sólo sirve para revestir ciertas cerámicas o endurecer aleaciones.

Principales compuestos. — Los óxidos más importantes son el *dióxido* (RuO_2), sólido azul, y el *peróxido* (RuO_4), sólido de color anaranjado. Se conocen también dos cloruros, algunos nitritos dobles y numerosos compuestos amoniacales.

24. — Metales del grupo I b

Cobre : Estado natural y obtención. Propiedades. Aplicaciones. Principales compuestos. — **Plata :** Estado natural y obtención. Propiedades y aplicaciones. Compuestos. *Halogenados. Óxidos. Otros compuestos.* — **Oro :** Estado natural y obtención. Propiedades y aplicaciones. Principales compuestos.

Los tres metales de este grupo *(cobre, plata* y *oro)* son monovalentes, dándose la particularidad de que el cobre puede actuar igualmente como divalente y el oro como trivalente. En el caso de pluralidad de valencias, los compuestos monovalentes son los menos estables. El peso específico de estos elementos aumenta en función de la masa atómica, mientras que los puntos de fusión y de ebullición son irregulares.

Cobre *(Cu = 63,54)*

Estado natural y obtención. — El cobre se conoce desde tiempos remotos y la denominación que tiene deriva del nombre latino de la isla de Chipre (Cyprus), donde había muchos yacimientos de este metal. Se encuentra en estado nativo y, más frecuentemente, en forma de sulfuro *(calcosina)* o sulfuro doble de hierro y cobre *(calcopirita),* abundantes ambos en todos los continentes. Entre los principales productores figuran los Estados Unidos, la Unión Soviética, China, Canadá, Chile, Perú, Bolivia, Zaire, Zambia, España y Polonia.

Existen varios métodos para la obtención, según se parta de minerales oxidados o sulfurados.

Propiedades. — El cobre, de color rojo, dúctil, maleable y tenaz, es, después de la plata, el metal que

conduce mejor el calor y la electricidad; tiene una densidad de 8,90, funde a 1 100 °C y es inalterable en una atmósfera de aire seco, pero, en aire húmedo que contenga anhídrico carbónico, se cubre con una capa verde de hidróxido básico de cobre, denominada *pátina*, que protege el metal de ataques ulteriores. Se combina con cloro, bromo, yodo y azufre y posee un potencial electropositivo, respecto al hidrógeno, por lo que los ácidos débiles no lo atacan en ausencia de aire. Con los ácidos débiles, en presencia de aire, y con los ácidos fuertes diluidos se cubre con una capa verde de la sal de cobre correspondiente, que es venenosa. Debe evitarse por ello conservar los alimentos en recipientes hechos con este metal.

El cobre se une a los metales para dar aleaciones, como el *latón* (cobre y cinc), *latón amarillo, latón blanco, plata nueva* (cobre, cinc y níquel), *constantán* (cobre y níquel), *bronce* (cobre y estaño), *cuproníquel* (cobre y níquel), etc.

Aplicaciones. — El cobre, más o menos puro, tiene numerosas aplicaciones en la industria : hilos, motores y material eléctrico, por su elevada conductividad; calderas, alambiques y utensilios de cocina, por la excelente conductibilidad térmica; canalizaciones y cubiertas de edificios, a causa de la resistencia que presenta este metal a la corrosión atmosférica.

Las aleaciones se utilizan todavía más y puede afirmarse que el cobre es, junto al hierro, uno de los metales que más valor tienen desde el punto de vista económico.

Principales compuestos. — Se enumeran a continuación los principales compuestos del cobre.

El *cloruro cuproso* (ClCu) constituye un polvo blanco, cristalino y poco soluble en agua.

El *óxido cuproso* (Cu_2O) es un polvo rojo, que puede prepararse haciendo hervir una solución de acetato de cobre con azúcar.

El *cloruro cúprico* (Cl_2Cu), obtenido disolviendo el óxido de cobre en ácido clorhídrico, cristaliza por enfriamiento, dando cristales de color verde.

El *óxido cúprico* (CuO) se prepara por tostación del cobre en el aire o por descomposición del nitrato.

El *hidróxido cúprico* [$(Cu(OH)_2$], preparado precipitando una sal de cobre con un álcali, es un precipitado azul pálido.

El *sulfuro cúprico* (SCu) se obtiene tratando la solución de una sal de cobre con sulfuro de hidrógeno.

El *sulfato cúprico* (SO_4Cu, $5H_2O$), preparado por tostación de las piritas, cristaliza en paralelepípedos de color azul, pierde el agua de cristalización a 200 °C, transformándose así en un polvo blanco, y se utiliza en galvanoplastia, tintorería y agricultura.

El *nitrato cúprico* [$(NO_3)_2Cu$] forma cristales azules delicuescentes.

Los *carbonatos cúpricos*, que se encuentran en estado libre como hidrocarbonatos, son la *malaquita* [CO_3Cu, $Cu(OH)_2$], que constituye masas informes verdes, y la *azurita* [$2CO_3Cu$, $Cu(OH)_2$], que forma cristales azules.

Plata *(Ag = 107,88)*

Estado natural y obtención. — La plata era ya conocida en el Imperio Egipcio, incluso su metalurgia y aleaciones. Fenicios, cartagineses y romanos explotaron las minas de plomo argentífero de la Península Ibérica y los griegos las de plata nativa en el Ática.

El símbolo químico deriva del nombre latino *argentum*. Este metal se encuentra en estado nativo en el lago Superior (Estados Unidos y Canadá), en minerales, como la *argentita* (sulfuro) y el *rosicler* (sulfuro doble de plata y arsénico o antimonio), o combinado en pequeña proporción con otros elementos en la galena, la blenda, las piritas y demás menas argentíferas del plomo, cobre y otros metales. Existen minas muy ricas en México, primer productor mundial, así como en Perú, Bolivia, Brasil y Argentina.

La obtención de la plata se basa en la transformación del sulfuro de plata en cloruro, por la acción de la sal marina. También se realiza por desplazamiento mediante otro metal y combinación subsiguiente con el mercurio o el plomo.

Propiedades y aplicaciones. — La plata, metal blanco puro, tenaz, muy dúctil y maleable, tiene una densidad de 10,5, funde a 960,5 °C y se volatiliza a temperaturas más elevadas, produciendo vapores azules. Es el mejor conductor del calor y de la electricidad. No se combina con el oxígeno, pero sí con los no metales, particularmente con los halógenos. Se ennegrece superficialmente al ponerse en contacto con el ácido sulfhídrico. El ácido nítrico la ataca a la temperatura ordinaria, con formación de nitrato de plata, el ácido sulfúrico lo hace a cierta temperatura y el clorhídrico solamente a partir de 500 °C. Se alea en todas las proporciones con el plomo, el oro y el cobre.

Las principales aplicaciones de la plata son los recipientes anticorrosivos para laboratorios, el plateado galvánico de otros metales, los contactos eléctricos para elevadas intensidades, las piezas antifricción en motores de aviación, etc. Aleada con el cobre, se utiliza para la acuñación de monedas y medallas, en joyería y en orfebrería.

Compuestos. — *Halogenados.* — El *cloruro de plata* (ClAg) se encuentra en la Naturaleza. Es insoluble en el agua pura y ligeramente soluble cuando el agua contiene sal marina en disolución, ácido clorhídrico o nitrato de plata. Es soluble en amoniaco y funde a 260 °C. Se descompone por efecto de la luz en plata metálica y en cloro, que se desprende. Esta reacción, en la cual el metal se ennegrece, se usa en la técnica fotográfica.

El *bromuro de plata* (BrAg), producido por acción de un bromuro alcalino sobre una solución de nitrato de plata, es soluble en amoniaco.

El *yoduro de plata* (IAg), cuerpo amarillo, alterable a la luz, se produce por acción de un yoduro alcalino sobre una disolución de nitrato de plata.

Óxidos. — Se conocen varios compuestos de la plata con el oxígeno : Ag_4O, Ag_2O, Ag_2O_2. El único digno de atención es el *protóxido* (Ag_2O), que se obtiene al verter potasa en una solución de nitrato de plata.

Otros compuestos. — El azufre y la plata se combinan por la acción del calor, dando *sulfuro de plata* (SAg_2), que existe cristalizado *(argirosa)* en la Naturaleza.

El *nitrato de plata* (NO_3Ag), obtenido disolviendo en caliente la plata en ácido nítrico, funde a 220 °C sin descomponerse, tiñe de negro la piel, es reducido por la luz, se emplea para platear espejos y es antiséptico.

El *fulminato de plata* (CNOAg) es un precipitado cristalino, blanco, que se obtiene tratando la solución caliente de nitrato de plata con alcohol y se emplea como fulminante de explosivos.

Oro *(Au = 197,2)*

Estado natural y obtención. — El oro, cuyo símbolo químico procede del nombre latino *aurum*, es un metal

precioso conocido desde la más remota Antigüedad. Aparece ya citado en el Antiguo Testamento y, a lo largo de la historia, ha ejercido una atracción permanente sobre todos los pueblos. Los alquimistas de la Edad Media le atribuyeron las mayores virtudes e intentaron descubrir la llamada *piedra filosofal*, capaz de transformar cualquier otro metal en oro.

Este elemento se encuentra en estado nativo, ya en filones cuarzosos o esquistosos, ya en aluviones o placeres auríferos, en forma de pepitas, granos irregulares o pajuelas. Los principales productores mundiales son la República de África del Sur, la U. R. S. S., Canadá, Estados Unidos, Australia, Rodesia, Ghana, Zaire, Japón, Filipinas y algunos países de Latinoamérica (Colombia, Brasil, México, Perú, Chile, Nicaragua, Bolivia, Venezuela, Ecuador, Honduras).

Para obtener el oro se trituran las rocas auríferas, y la pulpa resultante se trata posteriormente por amalgamación o por cianuración. La extracción a partir de las arenas auríferas se realiza mediante lavados y cribados que acaban por separar las pepitas metálicas de las materias menos densas.

Propiedades y aplicaciones. — El oro, que posee un bello y característico color amarillo, es el más dúctil y maleable de todos los metales, pudiéndose reducir a hojas de una diezmilésima de milímetro *(panes de oro)*. Funde a 1 064 ºC, tiene una densidad de 19,5, es inalterable al aire a todas las temperaturas y no lo ataca ningún ácido, salvo el agua regia y el cloro o el bromo en frío. Lo mismo que la plata, es bastante blando, por lo que normalmente se prepara ligado con ella o con el cobre, y es un excelente conductor del calor y de la electricidad.

Se conoce el uso del oro en joyería, orfebrería y acuñación de monedas y medallas, pero hay que subrayar también el papel que desempeña este metal en los intercambios internacionales. Por último, el oro batido, en finísimos panes, sirve para efectuar el dorado.

Principales compuestos. — Entre los compuestos conocidos del oro hay que mencionar el *protocloruro* ($ClAu$), polvo de color amarillo verdoso que puede formar sales dobles, y el *tricloruro* (Cl_3Au), obtenido al disolver el oro en agua regia, y, entre los oxigenados, el *óxido áurico* (Au_2O_3), polvo de color pardo que se obtiene calentando el hidróxido, y el *óxido auroso* (Au_2O), sólido violeta insoluble en el agua. Los *auratos* son sales que proceden del ácido áurico ($HAuO_2$) cuando éste se encuentra en contacto con los álcalis.

25. — Metales del grupo II b

Cinc : Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Cadmio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Mercurio :** Estado natural y obtención. Propiedades y aplicaciones. Compuestos. *Cloruros. Óxidos.*

Los elementos de este grupo *(cinc, cadmio* y *mercurio)*, que tienen gran importancia desde el punto de vista técnico, presentan numerosas analogías entre sí. Todos son divalentes, aunque el mercurio puede actuar como monovalente, siendo en tal caso sus sales menos estables que las divalentes.

Cinc *(Zn = 65,38)*

Hasta el siglo XVI no se conoció el cinc como elemento aislado, sino en combinación con el cobre y el estaño. Se encuentra en la Naturaleza en la *calamina* (carbonato y silicato), la *smithsonita* (carbonato) y la *blenda* (sulfuro). También se presenta como óxido.

Obtención, propiedades y aplicaciones. — A partir del mineral se procede a la tostación y luego a la reducción y licuación, siendo necesario refinar el metal bruto mediante la redestilación. Puede obtenerse asimismo por la electrólisis de una solución sulfúrica del mineral.

Es un metal blanco azulado, de densidad 7,3, dúctil y maleable a una temperatura de 120 ºC, con el punto de fusión a los 419,5 ºC. Se empaña en el aire por el óxido, formándose una delgada capa que evita una oxidación más profunda, descompone el agua a los 100 ºC, se disuelve, con desprendimiento de hidrógeno, por la acción de casi todos los ácidos y soluciones alcalinas, y se puede alear prácticamente con todos los metales, excepto el plomo y el bismuto.

Se utiliza para la fabricación de recipientes, tuberías, cubiertas de tejados, planchas litográficas y galvanizado del hierro. Entra en la composición del *latón*.

Principales compuestos. — Existen cuatro compuestos importantes.

El *cloruro de cinc* (Cl_2Zn) se obtiene por evaporación de la solución clorhídrica del metal. El cloruro anhidro funde a 250 ºC y se volatiliza al rojo. Deshidratante enérgico y desinfectante, forma gran número de cloruros dobles.

El *óxido de cinc* (ZnO), que no es fusible ni volátil, se prepara por la combustión del metal o por la calcinación del hidróxido, el carbonato o el nitrato. El óxido destinado a la pintura, llamado *blanco de cinc*, se fabrica a escala industrial.

El *sulfuro de cinc* (SZn) se encuentra en la Naturaleza en la blenda y la wurtzita. Se obtiene precipitando las soluciones de las sales de cinc con sulfuro de hidrógeno, lo que da un precipitado blanco y fluorescente, base de la preparación de ciertas pinturas luminosas.

El *sulfato de cinc* o *vitriolo de cinc* (SO_4Zn), preparado por evaporación de la solución del metal o del carbonato en ácido sulfúrico, se emplea en tintorería.

Cadmio *(Cd = 112,41)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El cadmio es un metal blanco análogo al cinc, en cuyos mismos yacimientos se encuentra. Se extrae del sulfuro natural que acompaña a los minerales de cinc como producto secundario de la metalurgia de éste. Es un elemento blando, dúctil, maleable, de una densidad de 8,6, que funde a 315 ºC y, al alearse con otros metales, reduce el punto de fusión de éstos. Tiene carácter tóxico y no debe usarse en la fabricación de utensilios de cocina.

Las aplicaciones del cadmio van desde los catalizadores y barras de control en los reactores nucleares hasta el revestimiento electrolítico de la superficie de varios metales para protegerlos de la corrosión.

Principales compuestos. — El *cloruro de cadmio* (Cl_2Cd), el *bromuro de cadmio* (Br_2Cd) y el *yoduro de cadmio* (I_2Cd) se forman al disolver el metal en los ácidos correspondientes. El *óxido de cadmio* (CdO) se obtiene por combustión del metal en el oxígeno y el *sulfuro de cadmio* (SCd) haciendo pasar una corriente de sulfuro de hidrógeno en la solución de una sal de cadmio. Las sales oxigenadas de cadmio, casi todas solubles en el agua, son incoloras, de sabor metálico desagradable y vomitivas.

Mercurio *(Hg = 200,61)*

Estado natural y obtención. — El mercurio, único metal líquido a la temperatura ordinaria, se conoce desde la Antigüedad. Los romanos lo llamaron *hidrargirium* (plata líquida), de donde deriva el símbolo químico que lo representa. La mena principal es el *cinabrio* (sulfuro). Abunda en España (Almadén), primer centro productor mundial, la Unión Soviética, Yugoslavia, Italia, China y Checoslovaquia. Se encuentra también en algunos países latinoamericanos (México, Perú, Colombia, Chile).

Para obtener el mercurio, se tuesta el cinabrio en presencia de aire, lo que produce anhídrido sulfuroso y vapor de mercurio, condensándose este último en cámaras de enfriamiento.

Propiedades y aplicaciones. — El mercurio es un metal muy brillante, de color blanco plateado, líquido a la temperatura ordinaria y que se solidifica a − 38,85 ºC, adquiriendo un aspecto muy parecido al de la plata. Tiene una densidad de 13,96, hierve a 357,25 ºC y emite vapores tóxicos a temperaturas normales. Disuelve el oro, la plata, el plomo y los metales alcalinos, formando *amalgamas*, pero aquéllos vuelven a separarse tan pronto como se calientan éstas.

Entre las aplicaciones del mercurio se encuentran la fabricación de instrumentos de Física (barómetros y termómetros), de catalizadores, de material eléctrico (interruptores, contadores) y de explosivos y los procedimientos metalúrgicos por amalgama. Numerosos productos farmacéuticos contienen este metal, mientras que ciertos compuestos (cloruros y yoduros) se emplean en fotografía y luminotecnia, dada la luminosidad de los vapores emitidos cuando éstos se someten a un campo eléctrico.

Compuestos. — *Cloruros.* — El *cloruro mercurioso* o *calomelanos* (Cl_2Hg_2) es un polvo blanco, insoluble en el agua, que se purifica por destilación y puede obtenerse mezclando una solución de sal mercúrica con otra de sal común. Se emplea en Medicina como purgante y debe estar exento de dicloruro.

El *cloruro mercúrico* (Cl_2Hg), preparado calentando sulfuro mercúrico y sal en un matraz de vidrio, es un veneno violento, coagula las materias albuminoideas y hace que éstas se vuelvan imputrescibles.

Óxidos. — Existen dos óxidos : el *mercurioso* (Hg_2O) y el *mercúrico* (HgO). El primero es un polvo negro, obtenido al tratar la solución de una sal mercuriosa con otra de potasa, y el segundo se presenta en forma de pajuelas rojas.

El *sulfato mercurioso* (SO_4Hg_2) se obtiene calentando el mercurio con un exceso de ácido sulfúrico, lo mismo que el *mercúrico* (SO_4Hg). El *sulfato neutro* (SO_4Hg) se descompone por el agua.

26. — Metales del grupo III b

Galio : Obtención, propiedades y aplicaciones. — **Indio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. — **Talio :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos.

Los metales de este grupo *(galio, indio* y *talio)* actúan generalmente como trivalentes, aunque en ciertos casos lo hacen como monovalentes y divalentes. Los tres tienen la propiedad de colorear la llama.

Galio *(Ga = 69,72)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El galio se encuentra, en pequeñas proporciones, en la *germanita* (sulfuro de germanio, hierro y cobre) y en ciertas blendas.

Este metal se presenta líquido a las temperaturas normales y moja la porcelana y el cristal. Tiene una densidad de 5,88 y funde a los 30,8 ºC. Sus propiedades son bastante semejantes a las del aluminio. Puede prepararse por electrólisis de su óxido disuelto en potasa o de su sulfato.

Se utiliza, en sustitución del mercurio, en los termómetros que han de medir temperaturas muy elevadas, así como en lámparas de vapores metálicos y como empaste dentario.

Indio *(In = 114,76)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El indio, obtenido por reducción de su óxido o por electrólisis de los cianuros, es un metal de brillo parecido a la plata, más blando que el plomo, maleable, que tiene una densidad de 7,4 y funde a 155 ºC. Sus propiedades son, en general, semejantes a las del cinc.

No tiene muchas aplicaciones, salvo la de lubricante de cojinetes y, en electrónica, forma parte integrante de los transistores de germanio. Uno de sus compuestos, el *seleniuro de indio*, sirve como fotoconductor.

Talio *(Ti = 204,39)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El talio se encuentra en las piritas y en ciertas blendas. Se extrae como producto secundario tras la tostación de esos minerales, sobre todo después de la fabricación del ácido sulfúrico. Se obtiene primeramente sulfato de talio, que se purifica y se somete a la electrólisis para separar el

metal puro. Éste es de color gris, maleable y con propiedades físicas semejantes a las del plomo, tratado en el capítulo siguiente. Tiene una densidad de 11,86 y funde a los 288 ºC. Sus propiedades químicas son análogas a las de los metales alcalinos : se altera en presencia de aire o de agua y forma sales tóxicas con los ácidos. Cuando es monovalente da compuestos taliosos, mientras que como trivalente forma sales tálicas. Los primeros son más estables que las segundas.

Una de las principales aplicaciones es la aleación del talio con otros metales. Ésta tiene un punto de fusión bajo y se emplea en los mecanismos antifricción. Algunos de los isótopos radiactivos de este elemento se utilizan como fuente de rayos para medir espesores en metalurgia (fabricación de laminados).

Principales compuestos. — Algunos de los compuestos del talio tienen importantes usos prácticos. El *sulfato* (SO_4Tl_2) es un veneno lento que se utiliza en la fabricación de insecticidas y raticidas, el *carbonato* entra en la composición del cristal *flint* y el *sulfuro* se emplea en las células fotoeléctricas.

27. — Metales del grupo IV b

Germanio : Obtención, propiedades y aplicaciones. — **Estaño :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos. — **Plomo :** Obtención, propiedades y aplicaciones. Principales compuestos.

Los metales de este grupo *(germanio, estaño* y *plomo)* son tetravalentes, como el carbono, y pueden además presentar la valencia dos; la estabilidad de las sales tetravalentes de los elementos del grupo decrece con el peso atómico, mientras que la de los compuestos divalentes aumenta, hasta el punto de que las combinaciones divalentes del plomo son más estables que las tetravalentes. El germanio presenta propiedades características de los no metales, por lo que se considera frecuentemente como semimetal.

Germanio *(Ge = 72,60)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El germanio es un elemento bastante difundido en la Naturaleza, aunque se encuentra en cantidades muy pequeñas. Se extrae de los óxidos que hay en la *germanita* (sulfuro de germanio, hierro y cobre) y en la *argirodita* (sulfuro de plata y germanio) y también puede obtenerse como subproducto de la elaboración del cinc.

Es un elemento gris, con brillo metálico, que funde a 958,5 ºC, tiene una densidad de 5,36, se volatiliza calentándolo al rojo vivo y puede sublimarse en forma de polvo negro. Lo atacan los ácidos y es tetravalente en las combinaciones más estables. El óxido (GeO_2) produce *germaniatos* al combinarse con los álcalis. Sus propiedades le asemejan al estaño, sobre todo por la posibilidad de reducción que tiene el óxido.

La principal aplicación del germanio es su uso como semiconductor en la fabricación de diodos y transistores.

Estaño *(Sn = 118,70)*

El estaño es un metal conocido desde la Antigüedad, citado incluso por Homero y Plinio. Abundaba entonces en las islas Casitérides, probablemente las actuales Scilly (Gran Bretaña), y en la época actual se encuentra, sobre todo, en Malaysia, Bolivia, Tailandia, Indonesia, Australia, Brasil, Zaire y Nigeria.

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El principal mineral del que se extrae el estaño es la *casiterita* (óxido), que se somete a un tratamiento de lavado, tostado, reducción por carbón y refinado.

Es un metal de color blanco, maleable, poco tenaz, con una densidad de 7,3, que funde a los 231º, por lo que puede decirse que es el más fusible de casi todos los metales. Tiene una estructura fibrosa cristalina, que se pone de manifiesto cuando, al doblar un trozo, emite un ruido particular que se conoce como *grito del estaño*. No se oxida a la temperatura ordinaria, pero arde al rojo vivo y se transforma en dióxido (SnO_2). Los álcalis lo disuelven en caliente, y el óxido, al combinarse con éstos, da *estannatos*. El ácido nítrico lo ataca a la temperatura normal, mientras que el sulfúrico lo hace en caliente y con lentitud. Se combina con los halógenos en frío.

Dada la resistencia que tiene a la corrosión, se usa para proteger el hierro y el cobre, así como para la elaboración de envases ligeros (tubos para pasta, hojas de papel de estaño). Aleado con el hierro forma la *hojalata*, empleada en la industria conservera, y con el antimonio y el plomo constituye el *metal tipográfico* en el que se funden los caracteres de imprenta. Sirve también para la fabricación y reparación de utensilios domésticos.

Principales compuestos. — El *cloruro estannoso* (Cl_2Sn), formado por la acción del ácido clorhídrico seco sobre el estaño caliente, es un reductor enérgico. El *cloruro estánnico* (Cl_4Sn), preparado por la acción de una corriente de cloro seco sobre el estaño caliente, es un líquido incoloro que hierve a 120 ºC.

El *óxido estannoso* (SnO) es de color pardo oliva, negro o rojo, según las condiciones de su formación. El *óxido estánnico* (SnO_2) es la *casiterita*, mineral de estaño que puede obtenerse también artificialmente por calcinación del estaño en el aire, dando lugar a dos hidratos : el *ácido metaestánnico* (SnO_3H_2) y el *ácido pentaestánnico* ($Sn_5O_{11}H_2$). Existen asimismo los *sulfuros estannoso* (SSn) y *estánnico* (S_2Sn).

Plomo *(Pb = 207,21)*

El plomo se conoce también desde tiempo inmemorial y su símbolo químico deriva del nombre latino *plumbum*. Abunda en los Estados Unidos, U. R. S. S., Canadá, Australia, México, Perú, Yugoslavia, Bulgaria, Marruecos y España.

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El plomo no se encuentra en estado nativo, sino en varios minerales que lo contienen. Las principales menas son la *galena* (sulfuro), la *cerusita* (carbonato) y la *anglesita* (sulfato). El procedimiento de obtención consiste en la tostación del mineral, reducción con coque y refinado para eliminar las impurezas. También existen métodos electrolíticos.

El plomo es un metal gris azulado, de brillo metálico, que se empaña al contacto con el aire por formación de

óxido, blando, dúctil, muy maleable, poco tenaz y con una densidad de 11,33. Carece de elasticidad y funde a los 327 ºC. Resiste bien a los agentes químicos, aunque el ácido clorhídrico lo ataca a la temperatura de ebullición. Se alea fácilmente con la mayoría de los metales. Con el antimonio y el estaño constituye el metal tipográfico, con el estaño forma la soldadura empleada en fontanería y con el arsénico, que lo endurece, la aleación con la que se fabrican los perdigones de caza.

Además de estas aplicaciones, con el plomo se cubren tejados y las paredes de las cámaras de fabricación del ácido sulfúrico. También es conocido su uso en tuberías para el agua o para el gas de alumbrado y como elemento en las pilas y acumuladores eléctricos.

Principales compuestos. — El plomo se combina con los halógenos, produciendo el *fluoruro de plomo* (F_2Pb) y el *cloruro de plomo* (Cl_2Pb), que se utiliza para fabricar la pintura denominada *amarillo de Cassel*. Son también conocidos el *bromuro* (Br_2Pb) y el *yoduro* (I_2Pb).

El *protóxido* (PbO) se produce por oxidación del plomo fundido en el aire.

El *minio* (Pb_3O_4) es un polvo de color rojo escarlata empleado en pintura para preservar el hierro del orín.

El *bióxido* o *superóxido de plomo* (PbO_2), obtenido calentando minio con ácido nítrico, es un oxidante enérgico que se disuelve en los álcalis y forma *plumbatos*.

El *sulfato de plomo* (SO_4Pb), que precipita cuando se añade ácido sulfúrico o un sulfato soluble a la solución de una sal de plomo, existe en la Naturaleza en forma cristalizada *(anglesita)*.

El *carbonato de plomo* (CO_3Pb) también existe en la Naturaleza *(cerusita)*. En la industria se utiliza el *albayalde*, que es un hidrocarbonato de plomo.

28. — Metal del grupo V b

Bismuto *(Bi = 209)*

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El bismuto, elemento poco abundante, se encuentra en la Naturaleza en estado nativo o como sulfuro en el mineral llamado *bismutita* o carbonato natural. Por tostación de éste se obtiene el óxido, que luego se reduce mediante carbón. El principal país productor es Bolivia.

El bismuto, único metal de este grupo en el que todos los demás (nitrógeno, fósforo, arsénico y antimonio) se conducen como metaloides, es de color blanco, brillante, con reflejos rojos, de consistencia dura y de densidad igual a 9,82 y funde a 270 ºC. Sus propiedades son bastante parecidas a las del antimonio. No se altera con el aire, se disuelve en el ácido nítrico, cristaliza con facilidad, se comporta como un mal conductor del calor y se alea con otros metales, dando en este caso un producto que tiene una temperatura de fusión muy reducida.

Las aplicaciones del bismuto se limitan a estas aleaciones, con las que se fabrican fusibles, moldes, etc.

Principales compuestos. — Entre los compuestos clorados hay que citar los *cloruros* Cl_2Bi y Cl_3Bi. El *oxicloruro* se utiliza como pigmento en la fabricación de pinturas.

El *óxido* (Bi_2O_3) entra en la composición de cristales refringentes y, al combinarse con el ácido nítrico, forma el *nitrato de bismuto* [$(NO_3)_3Bi$], el cual, al disolverse en agua, hace que se precipite un polvo blanco cristalino que se utiliza en cosmética. Otros derivados del bismuto se emplean en la industria farmacéutica.

29. — Metal del grupo VI b

Polonio *(Po = 210)*

El polonio es el único elemento metálico del grupo, en el que figuran también los no metales oxígeno, azufre, selenio y telurio.

Obtención, propiedades y aplicaciones. — El polonio, metal que tiene bastantes semejanzas con el bismuto y el telurio, es un cuerpo muy radiactivo que se halla en los minerales uraníferos, aunque en cantidad pequeñísima. Se obtiene con mayor facilidad irradiando el bismuto 209, que, mediante absorción de un neutrón y emisión de una partícula beta, se convierte en polonio 210. Tiene una densidad de 9,196 y un punto de fusión de 225 ºC. Es un elemento sumamente tóxico, causante de varios accidentes en los laboratorios, sobre todo en los primeros tiempos de la investigación nuclear, y muy inestable. Forma parte, como ya se ha indicado, de una serie de isótopos radiactivos.

Se emplea para producir radiaciones ionizantes y se considera que tendrá gran interés en termoelectricidad, ya que su constante desprendimiento de calor puede aprovecharse para generar corrientes.



Química orgánica

30. — Generalidades

Objeto de la Química orgánica. Origen de los cuerpos orgánicos. *Composición.* Determinaciones cuantitativas y cualitativas de los compuestos orgánicos. *Análisis cualitativo. Análisis cuantitativo.* Fórmulas estructurales e isomería. *Isomería óptica. Isomería geométrica.* Compuestos saturados y no saturados. *Clasificación.*

Objeto de la Química orgánica. — La Química orgánica trata de los *compuestos del carbono,* ya sean producidos por los seres vivos u obtenidos por síntesis, y el objeto de la misma no es otro que el estudio de los citados compuestos, que existen en gran número. Al ser éstos muy diferentes en sus propiedades de las combinaciones que tienen los demás elementos, puede fácilmente comprenderse la importancia de esta gran división de la Química descriptiva.

Origen de los cuerpos orgánicos. — Durante mucho tiempo, las sustancias orgánicas se produjeron exclusivamente a expensas de los seres vivos animales o vegetales y se llegó a pensar que la intervención de la vida era indispensable para llegar a elaborar esta materia. Posteriormente, la realización de síntesis orgánicas, a partir de sustancias minerales, desmintió por completo esta teoría. En la actualidad, la inmensa mayoría de los compuestos orgánicos se pueden obtener por vía sintética, aunque la industria prefiere, en ciertos casos, recurrir a procedimientos de extracción para sustancias como el azúcar, caucho, celulosa, almidón, etc. Sin embargo, algunas síntesis, como las del metanol y el ácido acético, pueden competir desde el punto de vista económico con los procesos de extracción correspondientes.

Composición. — Aparte del *carbono,* elemento fundamental que da la denominación a esta parte de la Química, el *hidrógeno* es otro componente casi universal de los cuerpos orgánicos, salvo algunas excepciones. Después de estos dos elementos, el *oxígeno* es el que más veces se encuentra, seguido del *nitrógeno,* los *halógenos* y el *azufre,* en numerosos compuestos, sobre todo de tipo artificial, y, menos frecuentemente, el *fósforo* y el *arsénico.* Los *metales,* por último, existen esencialmente en sales de ácidos orgánicos y en los derivados organometálicos obtenidos por síntesis.

Determinaciones cuantitativas y cualitativas de los compuestos orgánicos. — Los métodos más usuales que se emplean para el estudio de los compuestos orgánicos son la *destilación,* a la presión atmosférica, en vacío, o a presión reducida, y a presiones superiores a la atmosférica, la *recristalización,* en disolventes adecuados, la *sublimación,* la *cromatografía,* método basado en la absorción de los distintos compuestos de una mezcla, y el *arrastre con vapor.*

Estos métodos pueden integrarse en un grupo más amplio que podemos denominar procedimiento de *purificación de las sustancias orgánicas.* Se realizará, por tanto, la purificación de una sustancia, para luego proceder a los análisis cualitativo y cuantitativo de la misma.

Análisis cualitativo. — Vistos ya anteriormente los elementos que se encuentran en la composición de las sustancias orgánicas, procederemos a indicar los métodos de determinación cualitativa de cada una de ellas :

1.º *Carbono.* Se mezcla el producto con óxido cúprico seco y se calienta la mezcla así formada en un tubo de ensayo; si existe carbono, se habrá oxidado en CO_2, que se puede observar en una disolución de hidróxido cálcico.

2.º *Hidrógeno.* Se realiza la misma operación que en el caso del carbono; si existe hidrógeno, se transformará en agua, la cual se condensará en las partes frías del tubo.

3.º *Oxígeno.* La presencia de éste se descubre calentando el producto al rojo en una corriente de hidrógeno y haciendo pasar la mezcla gaseosa por una superficie de contacto en la que se forma agua.

4.º *Nitrógeno, halógenos y azufre.* Para todos éstos se emplea el método de Lassaigne, que consiste en fundir la muestra con sodio metálico. Si hay nitrógeno, cualquier halógeno o azufre, se formará cianuro sódico, halogenuro de sodio o sulfuro sódico, respectivamente. Los productos así formados se detectan por métodos inorgánicos; por ejemplo, los halogenuros se determinan por precipitación en forma de sales de plata, el cianuro por la coloración azul de Prusia, y los sulfuros por desprendimiento de SH_2.

5.º *Metales.* Si el producto contiene metales, la parte orgánica, al calentarlo, se quema y deja un residuo que puede contener el carbonato del metal, el óxido de éste o el mismo metal libre.

Análisis cuantitativo. — Para determinar la composición en peso de una sustancia orgánica, es imprescindible que ésta se halle libre de cualquier impureza. El análisis cuantitativo permite establecer la fórmula empírica de un compuesto.

1.º *Carbono e hidrógeno.* Se quema la sustancia en una corriente de oxígeno seco, pesando a continuación el CO_2 y el H_2O que se han formado.

2.º *Oxígeno.* Si se somete a pirolisis la sustancia en presencia de nitrógeno, el oxígeno presente, cuando existe, se transforma en CO al pasar por una superficie de carbón al rojo; si, a su vez, se hace pasar el monóxido de carbono sobre I_2O_5, se libera yodo que se puede valorar volumétricamente.

3.º *Nitrógeno.* Se determina tratando la sustancia con óxido de cobre, que libera nitrógeno en estado gaseoso, cuyo volumen puede evaluarse. Este procedimiento se conoce como *método de Dumas.*

4.º *Halógenos.* Se pueden determinar calentando la sustancia con ácido nítrico fumante y nitrato de plata; de esta manera se obtiene halogenuro de plata, que se valora por gravimetría.

5.° *Azufre.* Aprovechando la misma reacción anterior, pero sin NO_3Ag, se puede oxidar el azufre y obtener ácido sulfúrico, que se precipita en forma de sulfato bárico; éste se pesa y se conoce así el azufre contenido en la muestra.

Fórmulas estructurales e isomería. — A mediados del siglo XIX, el químico alemán August **Kekulé** (1829-1896) postuló la tetravalencia del carbono, aunque posteriormente se llegaron a preparar algunos compuestos de carbono bivalente y trivalente, pero poco numerosos y dotados de vida muy corta.

Si se representan los enlaces de valencia por líneas, el número de las mismas que lleva el símbolo de un elemento indica la valencia del átomo correspondiente :

```
                |      |
H—;  —O—;  N—;  —C—
                |      |
```

Así, el hidrógeno será monovalente, el oxígeno divalente, el nitrógeno trivalente y el carbono tetravalente.

Muchas veces una fórmula determinada representa a dos o más compuestos que se diferencian entre sí por sus propiedades físicas y químicas; por ejemplo, la fórmula empírica $C_4H_{10}O$ corresponde, al menos, a siete compuestos diferentes. Estos productos, con idéntica fórmula empírica (o molecular) y propiedades distintas, se denominan *isómeros* y se llama *isomería* al fenómeno que representan. Sólo se puede explicar este fenómeno si los átomos se colocan de una manera determinada en cada molécula y si cada isómero tiene una distribución distinta. Cuando la estructura de los distintos isómeros es diferente, se habla de *isomería estructural.*

Por todas estas razones, se indica siempre la distribución de los átomos en una molécula determinada por su fórmula estructural. Así el propanol tiene la *fórmula empírica* C_3H_8O y la *fórmula estructural*

```
  H  H  H
  |  |  |
H—C—C—C—O—H
  |  |  |
  H  H  H
```

Se puede afirmar que las fórmulas estructurales son descripciones simples de las propiedades de los compuestos y que éstas deben conocerse para estudiar Química orgánica.

Cuando el carbono se une a cuatro átomos monovalentes, sus valencias están orientadas hacia los vértices de un tetraedro, teniendo, por tanto, una *distribución espacial.* Las fórmulas estructurales no indican, sin embargo, la distribución de los átomos en el espacio y para conocerla se necesitarían fórmulas tridimensionales.

Dado que para una estructura pueden existir diferentes disposiciones espaciales, habrá otro tipo de isomería llamado *estereoisomería.* Los *estereoisómeros* no se diferencian en la fórmula estructural, sino en la distribución espacial de los átomos.

```
              ISOMERÍA
        ↙                 ↘
I. ESTRUCTURAL        ESTEREOISOMERÍA
                      ↙            ↘
              I. ÓPTICA        I. GEOMÉTRICA
```

Ya se ha visto que la isomería estructural, que puede ser funcional, en cadena o de posición, se debe a diferencias de estructura.

La *isomería funcional* la presentan los compuestos que poseen la misma fórmula empírica, pero con grupos funcionales distintos :

```
            H  H
            |  |
          H—C—C—O—H        alcohol etílico
            |  |
            H  H
C2H6O ↗
      ↘
            H     H
            |     |
          H—C—O—C—H        éter dimetílico
            |     |
            H     H
```

La *isomería en cadena* se presenta en los compuestos que difieren en la disposición de los átomos de carbono, como por ejemplo el n-butano y el isobutano :

```
                                 H
                                 |
                               H | H
                                \|/
  H  H  H  H                 H   C   H
  |  |  |  |                 |   |   |
H—C—C—C—C—H                H—C———C———C—H
  |  |  |  |                 |   |   |
  H  H  H  H                 H   H   H

   n-butano                  isobutano
```

La *isomería de posición* la presentan los compuestos que tienen la misma estructura carbonada, pero se diferencian en la situación de un grupo sustituyente :

CH_3—CH_2—CH_2OH CH_3—CHOH—CH_3

La *estereoisomería* de los compuestos, con diferente disposición espacial e idéntica estructura, puede corresponder a isomería de tipo óptico o geométrico.

Isomería óptica. — La *isomería óptica* aparece en los compuestos que tienen la misma estructura y diferentes configuraciones o disposición espacial, presentando además *asimetría molecular* (*fig.* 31). Los isómeros ópticos tienen parecidas propiedades físicas y químicas.

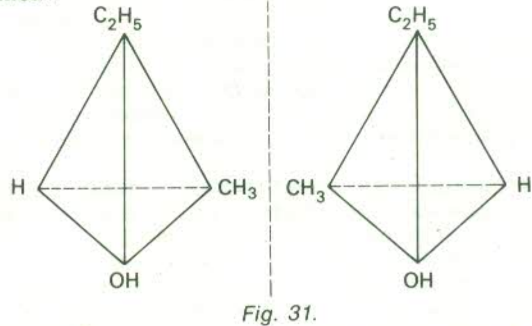


Fig. 31.

Se ha demostrado que sólo presentan actividad óptica aquellas estructuras que no se superponen con las imágenes especulares propias. Tales estructuras son entonces asimétricas, es decir que no existen elementos de simetría, y la experiencia indica que las sustancias ópticamente activas contienen *átomos de carbono asimétricos,* o sea, que sus valencias están unidas a átomos o radicales diferentes.

Una molécula y su imagen especular, cuando no son superponibles, se denominan *enantiomorfas*. Según parece, son físicamente iguales, excepto en que giran el plano de polarización de la luz y químicamente también son similares, aunque sus velocidades de reacción con otros compuestos ópticamente activos son diferentes en ocasiones.

Como primer método para designar los isómeros ópticos, se propuso anteponer a sus nombres los prefijos *d* o *l*, según fuesen *dextro* o *levógiro*, es decir, que desviasen la luz hacia la derecha o la izquierda. Posteriormente, el químico alemán Emil **Fischer** (1852-1919) pensó que era más importante indicar las relaciones estereoquímicas y no, simplemente, la dirección real de la rotación; propuso, por consiguiente, que los prefijos *d* y *l* se refiriesen a las relaciones estereoquímicas y no a la dirección de la rotación del compuesto.

Isomería geométrica. — La *isomería geométrica*, también denominada *cis-trans*, la presentan los compuestos que, teniendo la misma estructura, pero diferente configuración, no giran el plano de polarización de la luz polarizada; por ejemplo, sea el compuesto

$$\begin{array}{ccc} A\diagdown & & \diagup A \\ & C{=}C & \\ B\diagup & & \diagdown B \end{array}$$

en el que C es carbono y A y B radicales monovalentes; su representación espacial (estereoquímica) puede dar lugar a los dos dibujos de la figura 32, que no son más que tetraedros unidos por una arista.

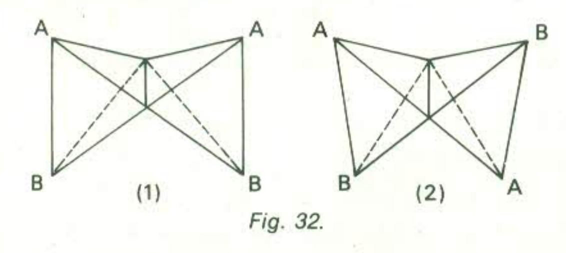


Fig. 32.

A la primera fórmula *(1)* corresponde la isomería *cis*, puesto que los grupos idénticos se hallan en un mismo lado de la molécula. A la segunda *(2)* se le denomina *trans*, puesto que los grupos idénticos se encuentran a cada lado de la misma.

Estos isómeros geométricos tienen propiedades físicas completamente diferentes y lo mismo ocurre con muchas de sus propiedades químicas.

Compuestos saturados y no saturados. — Si en un compuesto orgánico, que contiene dos o más átomos de carbono, todos los pares de carbonos adyacentes se hallan unidos por enlaces sencillos, se dice del compuesto que está *saturado* :

$$\begin{array}{c} H\;\;H\;\;H \\ |\;\;\;\;|\;\;\;\;| \\ H{-}C{-}C{-}C{-}H \\ |\;\;\;\;|\;\;\;\;| \\ H\;\;H\;\;H \end{array} \qquad \begin{array}{c} H\;\;H \\ |\;\;\;\;| \\ H{-}C{-}C{-}O{-}H \\ |\;\;\;\;| \\ H\;\;H \end{array} \qquad \begin{array}{c} H \\ | \\ H{-}C{-}C \begin{array}{l} /\!\!/ O \\ \diagdown H \end{array} \\ | \\ H \end{array}$$

propano — etanol — acetaldehído

Por el contrario, si hay por lo menos un par de carbonos adyacentes, unidos por un doble o triple enlace, se dice del compuesto que está *no saturado* :

$$\begin{array}{c} H\;\;H \\ |\;\;\;\;| \\ C{=}C \\ |\;\;\;\;| \\ H\;\;H \end{array} \qquad H{-}C{\equiv}C{-}H \qquad \begin{array}{ccc} H\diagdown & & \diagup H \\ & C{=}C{=}C & \\ H\diagup & & \diagdown H \end{array}$$

etileno — acetileno — propadieno

El doble enlace entre átomos de carbono y oxígeno no se considera como insaturación, como se ve en el ejemplo del acetaldehído.

Clasificación. — Los compuestos orgánicos se clasifican en *alifáticos*, de cadena abierta, *alicíclicos*, carbocíclicos, *aromáticos*, carbocíclicos que contienen núcleos bencénicos, y *heterocíclicos*, cíclicos que contienen otro elemento, además del carbono, en el ciclo.

31. — Compuestos alifáticos. Hidrocarburos saturados

Nomenclatura. Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Metano.

Los hidrocarburos saturados, llamados también *parafínicos* o *parafinas*, son compuestos de carbono e hidrógeno de cadena abierta. Muchos se encuentran en la Naturaleza formando parte del aceite mineral o petróleo.

Corresponden a la fórmula general C_nH_{2n+2}, en la que *n* representa el número de carbonos. Se denominan parafinas a causa de su pasividad frente a los agentes químicos.

Nomenclatura. — Los cuatro primeros términos de la serie son conocidos desde muy antiguo con los nombres de

metano CH_4
etano $CH_3{-}CH_3$
propano $CH_3{-}CH_2{-}CH_3$
butano $CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$

Y los siguientes se llaman poniendo la terminación *-ano* a continuación del prefijo griego que indica el número de átomos de carbono : pentano (C_5H_{12}), hexano (C_6H_{14}), decano ($C_{10}H_{22}$), etc.

Cuando los hidrocarburos tienen ramificaciones en la cadena, se toma como tronco de una de ellas la serie de carbonos más larga, numerándola a partir del extremo más próximo a una ramificación; si ambos extremos tienen igualmente próxima una ramificación, se comienza a numerar el carbono más próximo a la ramificación más sencilla.

Las ramificaciones o radicales unidos a la cadena principal se nombran comenzando por el más simple (metil, etil, propil), se pone el número del carbono al que están unidos y, al final, el hidrocarburo que forma la cadena principal, como puede verse seguidamente :

$$\begin{array}{c} CH_3{-}CH_2{-}CH{-}CH_2{-}CH_3 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

propil 3-pentano

$$\begin{array}{c} \qquad\qquad\qquad\qquad CH_3 \\ \qquad\qquad\qquad\qquad | \\ CH_3-CH-CH-CH_2-C-CH_3 \\ \ \ | \qquad | \qquad\qquad\quad | \\ CH_3\ CH_2 \qquad\quad CH_3 \\ \quad | \\ \quad CH_3 \end{array}$$

metil 2—etil 3—dimetil 5—hexano

Obtención. — Se efectúa la obtención por el *método de Wurtz,* consistente en hacer reaccionar los yoduros de alquilo (derivados halogenados de las parafinas) con el sodio.

Sea R un radical cualquiera :

$$\begin{array}{l} R - I\ Na \\ \qquad + \qquad \longrightarrow R-R+2INa \\ R - I\ Na \end{array}$$

Si los radicales R no fuesen iguales, se obtendría una mezcla de diferentes parafinas.

Se puede obtener también por la acción de *agentes hidrogenantes* sobre diversas sustancias orgánicas, tales como los alcoholes y los ácidos :

$$CH_3—CH_2OH + 2\,IH \rightarrow I_2 + CH_3—CH_3 + H_2O$$

Propiedades. — *Físicas.* — Los cuatros primeros términos son gaseosos a la temperatura ambiente, del pentano al hexadecano son líquidos y después sólidos. Son incoloros, insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos, como el alcohol y el éter, y huelen a petróleo.

Los puntos de fusión y ebullición aumentan con el número de átomos de carbono. La densidad de las parafinas es inferior a la del agua y aumenta al crecer el número de átomos de carbono.

Químicas. — Los hidrocarburos son muy resistentes a la acción de los agentes químicos y solamente dan derivados de sustitución, como puede verse con los halógenos :

$$CH_3—CH_3 + Cl_2 \rightarrow \underset{\text{cloruro de etilo}}{CH_3—CH_2Cl} + ClH$$

Son todos combustibles y al arder producen anhídrido carbónico y agua :

$$CH_3—CH_2—CH_3 + 5\,O_2 \rightarrow 3\,CO_2 + 4\,H_2O$$

En esta reacción se produce una gran cantidad de calor, que puede aprovecharse en quemadores o como energía en los motores de explosión. El poder calorífico es tanto mayor cuanto más elevada sea la proporción de hidrógeno en la molécula considerada.

Las parafinas reaccionan también con el ácido nítrico, sustituyendo un H por un grupo NO_2; esta reacción se produce a unos 400 °C. También reaccionan con el ácido sulfúrico fumante, sustituyendo un H por un grupo SO_3H.

Metano. — El metano es la parafina más sencilla y se encuentra en el gas natural y en los gases de los pozos petrolíferos. Es el producto orgánico principal de la degradación en los pantanos, liberándose el gas por la acción de las bacterias, por lo que se le llama «gas de los pantanos».

Puede obtenerse de las siguientes maneras :

Calentando acetato sódico anhidro con cal sodada :

$$CH_3—C\begin{matrix}/\!\!/ O \\ \diagdown ONa\end{matrix} + NaOH(CaO) \longrightarrow CH_4 + CO_3Na_2$$

Tratando el carburo de aluminio con agua en ebullición :

$$C_3Al_4 + 12\,H_2O \rightarrow 3\,CH_4 + 4\,Al(OH)_3$$

Por reducción del yoduro de metilo con hidrógeno naciente :

$$CH_3I + 2\,H \rightarrow CH_4 + IH$$

El metano, gas incoloro, inodoro, no tóxico, cuyo punto de ebullición es − 164 °C a la presión atmosférica, es poco soluble en agua y arde en aire u oxígeno :

$$CH_4 + 2\,O_2 \rightarrow CO_2 + 2\,H_2O$$

Si se controla la reacción, se puede obtener metanol y formaldehído; si aquélla es violenta, se inflama y provoca explosiones en las minas (grisú).

Con los halógenos y con intensa luz solar se forma :

$$CH_4 + 2\,Cl_2 \rightarrow C + 4\,ClH$$

Si la luz solar es difusa se produce :

$CH_4 + Cl_2 \rightarrow CH_3Cl + ClH$
$CH_3Cl + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl_2 + ClH$
$CH_2Cl_2 + Cl_2 \rightarrow CHCl_3 + ClH$ cloroformo
$CHCl_3 + Cl_2 \rightarrow CCl_4 + ClH$ tetracloruro de carbono

El metano se utiliza para generar hidrógeno (síntesis del amoniaco).

Se mezcla con vapor de agua y se hace pasar sobre níquel a una temperatura de 700 °C :

$$CH_4 + H_2O \xrightarrow{Ni} CO + 3H_2$$

También se emplea como combustible líquido, en la obtención de negro de humo, que se utiliza en pinturas y tintes, y en la industria del caucho

$$CH_4 + \underset{1\,000\,°C}{Q} \longrightarrow \underset{\text{negro de humo}}{C} + 2H_2$$

32. — Hidrocarburos no saturados

Olefinas. *Nomenclatura. Obtención. Propiedades. Isomerización, condensación y polimerización. Eteno o etileno.* Acetilenos, alquinos o alcinos. *Nomenclatura. Obtención. Propiedades. Acetileno.* Diolefinas. *Caucho.*

Olefinas. — Las olefinas, *alquenos* o *alcenos* son los hidrocarburos no saturados que contienen doble enlace. Tienen la fórmula general C_nH_{2n} y este doble enlace se conoce también como *enlace etilénico.* Se obtienen en grandes cantidades en el *cracking* o craqueo del petróleo y de hidrocarburos saturados como el etano, propano, butano y naftas. Se utilizan para preparar muy variados compuestos orgánicos.

Nomenclatura. — Se nombran cambiando la terminación *-ano* del hidrocarburo saturado por el sufijo *-eno* y el carbono que sustenta el doble enlace se indica con un número detrás del nombre :

$CH_2{=}CH_2$ eteno
$CH_2{=}CH{-}CH_3$ propeno
$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$ buteno 1
$CH_2{=}C(CH_3){-}CH_3$ metil 2 propeno

Obtención. — La obtención se efectúa por los siguientes métodos.

Por *deshidratación de los alcoholes* mediante ácido sulfúrico :

$$CH_3{-}CH_2OH \xrightarrow{SO_4H_2} CH_2{=}CH_2 + H_2O$$

Se pueden también conseguir los mismos resultados con ácido fosfórico glacial (PO_3H) o con pentóxido de fósforo (P_2O_5).

Por *acción del hidróxido potásico* sobre los derivados monohalogenados de las parafinas :

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2Cl + KOH \xrightarrow{etanol} CH_3{-}CH{=}CH_2 + ClK + H_2O$$

Por *descomposición* mediante calor de los hidróxidos de amonio cuaternarios :

$$(C_2H_5)_4NOH \xrightarrow{Q} CH_2{=}CH_2 + (C_2H_5)_3N + H_2O$$

Propiedades. — FÍSICAS. — Los términos de dos a cuatro carbonos son gaseosos, de cinco a quince líquidos y, después, sólidos a temperatura ambiente. Son menos densos que el agua, en la cual son insolubles.

QUÍMICAS. — Debido a la presencia del doble enlace, las olefinas experimentan un gran número de reacciones de adición. En condiciones especiales sufren asimismo reacciones de sustitución. Las reacciones de adición transforman la molécula no saturada en saturada. El doble enlace se caracteriza por una gran fragilidad a la acción de los oxidantes y por la facilidad que tiene en formar *polímeros.*

En las *reacciones de adición,* las olefinas, al hidrogenarse, se transforman en hidrocarburos saturados :

$$CH_2{=}CH_2 + H_2 \rightarrow CH_3{-}CH_3$$

adicionan *halógenos :*

$CH_2{=}CH_2 + Cl_2 \rightarrow CH_2Cl{-}CH_2Cl$ cloruro de etileno

adicionan *hidrácidos :*

$CH_2{=}CH_2 + BrH \rightarrow CH_3{-}CH_2Br$ bromuro de etilo

se *hidratan* en presencia de ácido sulfúrico :

$$CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{SO_4H_2} CH_3{-}CH_2OH$$

En las *reacciones de oxidación,* los oxidantes fuertes, como el permanganato potásico, provocan la ruptura de la molécula por el doble enlace y los productos originados se transforman en *aldehídos* o *cetonas,* según que los carbonos sean primarios o secundarios

$$CH_3{-}CH{=}C(CH_3){-}CH_3 + [O] \longrightarrow$$

$$CH_3{-}CH(O){=}C(O)(CH_3){-}CH_3 \longrightarrow$$

$$\underset{\text{aldehído}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\ll}}_{H}} + \underset{\text{cetona}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\ll}}_{CH_3}} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{ácido}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\ll}}_{OH}}$$

Posteriormente el aldehído no resiste a la acción del oxidante y se convierte en ácido.

Isomerización, condensación y polimerización. — Las olefinas se isomerizan cuando se calientan a temperaturas elevadas (600 °C) o a temperaturas inferiores, si se utilizan catalizadores (sulfato de aluminio). Estas isomerizaciones se caracterizan por el *desplazamiento* del doble enlace que tiende a situarse en el centro de la cadena :

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH{=}CH_2 \rightarrow CH_3{-}CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_3$$

Las olefinas se condensan con anhídrido acético en presencia de catalizadores y los productos resultantes son *cetonas* no saturadas :

$$CH_2{=}CH_2 + (CH_3{-}CO)_2O \longrightarrow CH_2{=}CH{-}C{\overset{O}{\ll}}_{CH_3} + CH_3{-}C{\overset{O}{\ll}}_{OH}$$

El concepto de *polimerización* se utilizó en un principio para descubrir el proceso que tiene lugar cuando una sustancia química (el *monómero*) da productos con la misma fórmula empírica que poseen diferentes pesos moleculares que han de ser múltiplos de los del monómero.

Al comprobarse posteriormente que, cuando se descomponía el polímero en sustancias más sencillas, éstas no tenían la misma fórmula empírica del monómero inicial, se definió la polimerización como el proceso de reacción intermolecular con posibilidad de progresar de un modo indefinido. Esto implica que no existe límite para el tamaño de la molécula del polímero, que, por la misma razón, se puede denominar *macromolécula :*

$$CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + \ \ldots \xrightarrow[\text{T y P elevadas}]{}$$

$$\underset{\text{polietileno}}{{-}({-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2 + \ldots){-}}$$

Esta reacción, a temperatura y presión elevadas, se cataliza con trazas de oxígeno.

Eteno o etileno. — El eteno, primer término de la serie de las olefinas, corresponde a la fórmula $CH_2 = CH_2$. Puede prepararse por cualquiera de los métodos mencionados en el presente capítulo o calentando etanol en ácido sulfúrico concentrado :

$$CH_3{-}CH_2OH \xrightarrow{SO_4H_2} CH_2{=}CH_2 + H_2O$$

Partiendo también del etanol (vapor de etanol) se puede obtener eteno, al hacerlo pasar sobre aluminio calentado a 350 °C :

$$C_2H_5OH \xrightarrow{aluminio} C_2H_4 + H_2O$$

o hidrogenando parcialmente el acetileno :

$$CH{\equiv}CH + H_2 \longrightarrow CH_2{=}CH_2$$

El eteno, gas incoloro, muy poco soluble en agua, que se licúa a − 104 ºC, se puede oxidar por el oxígeno de la atmósfera (a 300 ºC), produciendo óxido de etileno, de gran importancia industrial :

$$CH_2{=}CH_2 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow \underset{\diagdown \; O \; \diagup}{CH_2{-}CH_2}$$

Se polimeriza a temperatura y presión elevadas, formando el politeno o polietileno :

$$n\,CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{T\ y\ P} -(-CH_2{-}CH_2-)_n-$$

El politeno, producto de esta reacción, es un plástico muy resistente a los ácidos, a las bases y a la mayoría de los disolventes orgánicos corrientes.

El eteno se ha utilizado a modo de anestésico, en la preparación de disolventes y en la maduración de las frutas, pero su principal aplicación consiste en la fabricación de plásticos, como el politeno y el poliestireno, de gran importancia en la industria.

Acetilenos, alquinos o alcinos. — Los acetilenos son hidrocarburos no saturados que contienen triple enlace. El primer término es el acetileno $CH \equiv CH$, por lo cual esta serie se designa como « serie del acetileno ». La fórmula general es C_nH_{2n-2}.

Los acetilos pueden ser mono o disustituidos :

$$R{-}C \equiv C{-}H \qquad R{-}C \equiv C{-}R$$

Nomenclatura. — Se nombran cambiando la terminación *-ano* por *-ino* en el hidrocarburo saturado correspondiente del mismo número de átomos de carbono. Las demás reglas son iguales que las aplicadas a las olefinas.

También en la nomenclatura general se les nombra como si se tratase de acetilenos sustituidos.

$CH \equiv CH$	etino	o	acetileno
$CH \equiv C{-}CH_3$	propino	o	metilacetileno
$CH \equiv C{-}CH_2{-}CH_3$	butino 1	o	etil acetileno
$CH_3{-}C \equiv C{-}CH_3$	butino 2	o	dimetil acetileno

Obtención. — El método más corriente de obtención del acetileno consiste en tratar los derivados dihalogenados con hidróxido potásico :

$$CH_2Cl{-}CH_2Cl + 2KOH \longrightarrow 2ClK + 2H_2O + \underset{\text{acetileno}}{CH \equiv CH}$$

Propiedades. — FÍSICAS. — Los tres primeros términos son gaseosos, a partir del tercero y hasta el $C_{14}H_{26}$ son líquidos y luego son sólidos. Tienen olor aliáceo, hierven a temperatura superior a los términos correspondientes de la serie etilénica y se inflaman fácilmente.

QUÍMICAS. — Debido a la no saturación de la molécula, las propiedades químicas de estos compuestos recuerdan las de los hidrocarburos etilénicos y, al igual que éstos, dan lugar a productos de adición, ruptura, isomerización, polimerización, etc.

Adicionan hidrógeno y, al obtener el hidrocarburo saturado, controlando la reacción, se puede producir una olefina en el paso intermedio :

$$CH \equiv CH + H_2 \xrightarrow{cat.} CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{H_2} CH_3{-}CH_3$$

Adicionan halógenos y estas adiciones son catalizadas por la luz :

$$CH \equiv CH \xrightarrow{Cl_2} CHCl{=}CHCl \xrightarrow{Cl_2} CHCl_2{-}CHCl_2$$

Adicionan hidrácidos, lo que conduce a la formación de derivados dihalogenados, en los que el hidrógeno se fija preferentemente en el carbono más sustituido :

$$R{-}C \equiv CH + 2ClH \longrightarrow R{-}CCl_2{-}CH_3$$

Por hidratación se transforman en aldehídos o incluso en cetonas :

$$R{-}C \equiv C{-}H + H_2O \longrightarrow R{-}C \begin{smallmatrix} {=}O \\ \diagdown CH_3 \end{smallmatrix}$$

Por oxidación se convierten en una mezcla de ácidos :

$$CH_3{-}C \equiv C{-}H + [O] + H_2O \longrightarrow$$

$$CH_3{-}C \begin{smallmatrix} {=}O \\ \diagdown OH \end{smallmatrix} + H{-}C \begin{smallmatrix} {=}O \\ \diagdown OH \end{smallmatrix}$$

El triple enlace puede ser objeto también de *desplazamiento* en el interior de la cadena.

Se polimerizan por acción del calor o del ácido sulfúrico y el resultado es un hidrocarburo cíclico :

(3 HC≡CH $\xrightarrow{Q}$ anillo de benceno) benceno

$$3C_2H_2 \xrightarrow{Q} C_6H_6$$

Acetileno. — El acetileno o *etino*, cuya fórmula es $CH \equiv CH$, es el primer término de la serie.

Se obtiene descomponiendo el carburo cálcico con agua :

$$C_2Ca + 2H_2O \longrightarrow CH \equiv CH + Ca(OH)_2$$

$$\underset{Ca}{C \equiv C} + \begin{matrix} HOH \\ HOH \end{matrix} \longrightarrow CH \equiv CH + Ca(OH)_2$$

Éste es el método más utilizado en la industria, dada la facilidad de obtención del carburo cálcico en un horno eléctrico :

$$CaO + 3C \rightarrow C_2Ca + CO$$

Se puede conseguir también el acetileno por cualquier método mencionado para la serie acetilénica y, actualmente, se obtienen a partir del craqueo, realizado en general mediante el arco eléctrico, mezclas de metano-etano procedentes de la hidrogenación del carbono.

PROPIEDADES Y UTILIZACIÓN. — El acetileno es un gas incoloro e inodoro si es puro; su olor desagradable se debe a las impurezas que contiene. Es muy soluble en acetona y poco soluble en agua. Arde en el aire con llama muy luminosa y forma con él mezclas explosivas :

$$2CH \equiv CH + 5O_2 \longrightarrow 4CO_2 + H_2O$$

Por hidratación forma el acetaldehído :

$$CH \equiv CH + H_2O \underset{Hg^{+2}}{\xrightarrow{SO_4H_2}} CH_3{-}C \begin{smallmatrix} {=}O \\ \diagdown H \end{smallmatrix}$$

Esta reacción se realiza haciendo pasar el acetileno por ácido sulfúrico diluido a 60 °C, utilizando sulfato mercúrico como catalizador. Por polimerización da benceno :

$$3C_2H_2 \longrightarrow C_6H_6$$

(anillo bencénico: CH, HC, CH, HC, CH, CH)

El acetileno, por su facilidad en arder con llama luminosa, se ha empleado en el alumbrado y se utiliza como combustible en el soplete oxiacetilénico (*fig.* 33), para soldar y cortar metales, dadas las grandes temperaturas que se pueden alcanzar (3 000 °C). Sirve también para la preparación de productos muy importantes para la industria (acetaldehído, etanol, ácido acético, etc.).

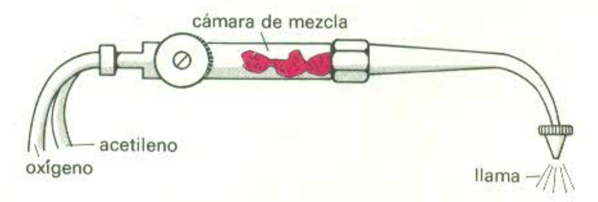


Fig. 33

Diolefinas. — Existen muchos hidrocarburos con dos dobles enlaces en su molécula que son isómeros de los correspondientes de la serie del acetileno. Así, por ejemplo, el 1-butino o etilacetileno es isómero del 1,3-butadieno :

$$CH \equiv C—CH_2—CH_3 \qquad CH_2=CH—CH=CH_2$$

1-butino — 1,3-butadieno

Para indicar la presencia de dos dobles enlaces se utiliza la terminación *-dieno*.

Si dos dobles enlaces se encuentran separados por uno sencillo, se forma una configuración estable y se constituye un *doble enlace conjugado*.

Los dobles enlaces conjugados dan reacciones adicionando en los carbonos 1 y 4, formándose un nuevo doble enlace entre los carbonos 2 y 3 :

$$CH_2=CH—CH=CH_2 + Br_2 \longrightarrow CH_2Br—CH=CH—CH_2Br$$

Las dos diolefinas más importantes son el *butadieno* y el *isopreno* (2 metil-1,3 butadieno) :

$$CH_2=CH—CH=CH_2 \qquad CH_2=C(CH_3)—CH=CH_2$$

butadieno — isopreno

Estos dos hidrocarburos y el *cloropreno* constituyen los productos básicos que, por polimerización, originan el *caucho sintético*.

El butadieno se obtiene por deshidrogenación del buteno o por deshidratación, con catalizadores, del etanol :

$$2CH_3—CH_2OH \rightarrow CH_2=CH—CH=CH_2 + 2H_2O + 2H$$

El isopreno se obtiene a partir de los pentanos y se forma como producto secundario en la preparación catalítica del butadieno, a partir de fracciones de petróleo.

Caucho. — El caucho es un hidrocarburo que se saca del *látex* de ciertos árboles. Cuando se calienta este látex o si se le añade ácido acético, los hidrocarburos que tiene, además de otras sustancias, se coagulan y pueden extraerse del líquido. El producto así obtenido es el *caucho bruto*, que es muy viscoso, blando en caliente y duro y quebradizo en frío. Si se estira, no recupera su forma primitiva más tarde. Si se amasa con azufre y se calienta a 100 °C, se forma una combinación que no se deforma por el calor, no es quebradiza ni pegajosa y recupera su forma primitiva después de haber sido estirada. Este proceso se llama *vulcanización*.

El caucho natural es un polímero del isopreno.

33. — Derivados halogenados de los hidrocarburos

Generalidades. Nomenclatura. Derivados monohalogenados. *Obtención y propiedades*. Derivados dihalogenados. *Obtención y propiedades*. Derivados trihalogenados. *Cloroformo. Bromoformo y yodoformo*. Derivados tetrahalogenados. *Tetracloruro de carbono. Diclorodifluormetano y triclorofluormetano*.

Generalidades. — Cuando se estudiaron las propiedades químicas de los hidrocarburos, se indicó la acción de los halógenos sobre las parafinas, que daba lugar a la formación de compuestos de sustitución de uno o más átomos de hidrógeno por átomos de halógeno. Esta misma acción también se produce en los hidrocarburos no saturados.

En la formación de productos de sustitución es muy difícil limitar el proceso o la obtención de un único compuesto halogenado, lo que hace que se empleen otros métodos para producir un derivado mono, di o trihalogenado, correspondiente a un determinado hidrocarburo.

Nomenclatura. — Los derivados halogenados se pueden considerar como *ésteres* y se designan entonces con los nombres de cloruros, yoduros, etc., de alcohílo, como el C_2H_5Cl o cloruro de etilo.

Pero también se pueden denominar indicando primero el átomo del halógeno y el número que indica su

posición. Si existe un sustituyente en la cadena lateral, se numera entonces ésta empezando por el átomo de carbono unido a la cadena principal :

$$\begin{array}{l} CH_3-CH_2-CH-CH-CH_2-CH-CH_3 \\ \quad\quad\quad\quad\; | \quad\;\; | \quad\quad\quad\quad | \\ \quad\quad\quad\; CH_2 \;\; CH_2Cl \quad\;\; I \\ \quad\quad\quad\quad | \\ \quad\quad\quad\; CH_3 \end{array}$$

6—yodo—3 etil—4 clorometil—heptano

Derivados monohalogenados. — Los derivados monohalogenados corresponden a la fórmula general $C_nH_{2n+1}X$, en la que X es un átomo de halógeno, y son compuestos exclusivamente artificiales que adquieren gran importancia por su empleo en numerosas síntesis orgánicas al tener la propiedad de introducir radicales carbonados en las moléculas, lo que hace que se les utilice como agentes de alcohilación.

Obtención y propiedades. — Estos derivados monohalogenados se obtienen por reacción de los alcoholes con los hidrácidos en presencia de un deshidratante :

$$CH_3-CH_2\boxed{OH+H}X \xrightarrow{Cl_2Zn} CH_3-CH_2X+H_2O$$

o por acción de un haluro de fósforo sobre un alcohol :

$$3C_2H_5OH + PBr_3 \longrightarrow PO_3H_3 + 3C_2H_5Br$$
$$C_2H_5OH + PCl_5 \longrightarrow C_2H_5Cl + POCl_3 + ClH$$

o por adición de hidrácidos a las olefinas :

$$CH_2{=}CH_2 + ClH \longrightarrow CH_3-CH_2Cl$$

Los halogenuros de alcohílo, líquidos incoloros generalmente, tienen un punto de ebullición que aumenta con el peso atómico del halógeno y con el número de átomos de carbono del compuesto. Son insolubles en agua, solubles en los disolventes normales y se alteran por la acción de la luz. Dan fácilmente alcoholes por hidrólisis :

$$R-I + NaOH \rightarrow R-OH + INa$$

Con álcalis concentrados se obtienen los hidrocarburos etilénicos :

$$\begin{array}{l} CH_3-CH_2 \longrightarrow CH_2{=}CH_2 + IH \\ \quad\quad\quad\; | \\ \quad\quad\quad\; I \end{array}$$

Por hidrogenación producen hidrocarburos saturados :

$$R-I + H_2 \rightarrow IH + RH$$

Reaccionan con los metales dando los *derivados organometálicos :*

$$RI + Mg \longrightarrow Mg\begin{matrix} \diagup R \\ \diagdown I \end{matrix}$$

Tratándolos con sodio, en la llamada síntesis de Wurtz, producen hidrocarburos saturados :

$$2RI + 2Na \rightarrow R-R + 2INa$$

Con los cianuros alcalinos dan nitrilos :

$$RI + Na-C{\equiv}N \longrightarrow \underset{\text{nitrilo}}{R-C{\equiv}N} + INa$$

El monohalogenuro más importante es el *cloruro de metilo* (CH_3Cl), empleado como refrigerante en la industria y como anestésico en medicina. Se utiliza también en la fabricación de colorantes de anilina y como extintor de incendios.

Derivados dihalogenados. — Los derivados dihalogenados tienen como fórmula general $C_nH_{2n}X_2$.

Obtención y propiedades. — Estos derivados se obtienen por la acción de los pentahalogenuros de fósforo sobre los aldehídos y cetonas :

$$CH_3-C\begin{matrix} {=}O \\ \diagdown CH_3 \end{matrix} + PCl_5 \longrightarrow CH_3-CCl_2-CH_3 + POCl_3$$

por la acción de hidrácidos sobre los acetilenos :

$$CH{\equiv}CH + BrH \longrightarrow CH_2{=}CHBr \xrightarrow{BrH} CH_3-CHBr_2$$

o por adición de halógeno en las olefinas :

$$CH_3-CH{=}CH_2 + Cl_2 \longrightarrow CH_3-CHCl-CH_2Cl$$

Estos dihalogenuros son líquidos incoloros de olor dulzaino y, con los dos átomos de halógeno en un mismo carbono, no son tan reactivos como los halogenuros de alquilo. Si tienen dos átomos de halógeno en el mismo carbono se hidrolizan por los álcalis :

$$CH_3-CCl_2-CH_3 + 2KOH \longrightarrow CH_3-C\begin{matrix} {=}O \\ \diagdown CH_3 \end{matrix} + H_2O + 2ClK$$

Estos mismos producen olefinas cuando se tratan con metanol y cinc :

$$CH_3-CH_2-CHBr_2 + Zn \xrightarrow{CH_3OH} CH_3-CH{=}CH_2 + Br_2Zn$$

Los dihalogenuros con átomos de halógeno situados en diferentes carbonos producen olefinas o compuestos cíclicos, según la posición de los átomos del halógeno :

$$CH_3-CHBr-CH_2Br + Zn \xrightarrow{CH_3OH} CH_3-CH{=}CH_2 + Br_2Zn$$

$$CH_2\begin{matrix} \diagup CH_2Br \\ \diagdown CH_2Br \end{matrix} + Zn \xrightarrow{CH_3OH} CH_2\begin{matrix} \diagup CH_2 \\ | \\ \diagdown CH_2 \end{matrix} + Br_2Zn$$

Los dihalogenuros más importantes son el *bromuro de etileno* y el *cloruro de metileno*. El primero se adiciona, junto con el plomo tetraetilo, a la gasolina, con el fin de aumentar sus propiedades antidetonantes. El segundo se utiliza como disolvente industrial.

Derivados trihalogenados. — Los más importantes derivados trihalogenados son los trihalogenuros del metano : *cloroformo* ($CHCl_3$), *bromoformo* ($CHBr_3$) y *yodoformo* (CHI_3).

Cloroformo. — Puede prepararse industrialmente el cloroformo por *cloración* del metano :

$$CH_4 + 2Cl_2 \rightarrow CHCl_3 + ClH$$

o por *reducción* parcial del tetracloruro de carbono con limaduras de hierro y agua :

$$Cl_4C + 2[H] \rightarrow CHCl_3 + ClH$$

o por *destilación* del hidrato de cloral con NaOH :

$$CCl_3-CH(OH)_2 + NaOH \rightarrow CHCl_3 + CO_2HNa + H_2O$$

El cloroformo, líquido incoloro, de olor dulzaino, muy denso, no inflamable, es fácilmente soluble en etanol y éter y muy poco en agua. Su punto de ebullición es 61 ºC.

Cuando se trata con cinc y ácido, en solución alcohólica, se obtiene cloruro de metileno :

$$CHCl_3 + [H] \xrightarrow{Zn/ClH} CH_2Cl_2 + ClH$$

Junto con cinc y agua se obtiene metano :

$$CHCl_3 + 6[H] \xrightarrow{Zn/H_2O} CH_4 + 3ClH$$

Expuesto al aire se oxida lentamente, dando *cloruro de carbonilo* o *fosgeno*, gas extremadamente venenoso :

$$CHCl_3 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow COCl_2 + ClH$$

El cloroformo se utiliza en cirugía como anestésico, debiendo ser en este caso extremadamente puro, y en la industria como disolvente de grasas, ceras, caucho, etc.

Bromoformo y yodoformo. — El bromoformo, líquido que tiene el punto de ebullición a 149,5 °C y un olor análogo al cloroformo, se asemeja a éste desde el punto de vista químico y se prepara de modo similar.

El yodoformo se obtiene añadiendo yodo a una disolución caliente de carbonato sódico que contenga alcohol. Es insoluble en agua, muy soluble en alcohol y éter, tiene el punto de ebullición a 119 °C y cristaliza en placas amarillas hexagonales. Se utiliza como antiséptico, aunque esta función es propia del yodo libre y no del yodoformo. Se parece mucho, desde el punto de vista químico, al cloroformo y al bromoformo.

Derivados tetrahalogenados. — Los derivados tetrahalogenados más importantes son también los derivados del metano : *tetracloruro de carbono* (CCl_4), *diclorodifluormetano* (CCl_2F_2) y *triclorofluormetano* (CCl_3F).

Tetracloruro de carbono. — El tetracloruro de carbono se suele preparar industrialmente por la acción del cloro sobre disulfuro de carbono en presencia de Cl_3Al como catalizador :

$$S_2C + 3Cl_2 \xrightarrow{Cl_3Al} CCl_4 + S_2Cl_2$$

Se puede obtener también por cloración del metano.

Es un líquido incoloro, cuyo vapor no es inflamable, de olor débil, insoluble en agua y fácilmente soluble en etanol y éter. Tiene el punto de ebullición a 77 °C.

Se utiliza mucho como disolvente de grasas, aceites y lacas, y asimismo como extintor de incendios. Se puede reducir a cloroformo con limaduras de hierro húmedo.

Diclorodifluormetano y triclorofluormetano. — Estos derivados tetrahalogenados son de carácter mixto y se les denomina también *Freón 12* y *Freón 11*, respectivamente. Son gases casi inodoros, no tóxicos ni corrosivos, como tampoco irritantes o inflamables. Se obtienen tratando tetracloruro de carbono con fluoruro de antimonio (SbF_3) en presencia de un catalizador de pentacloruro de antimonio. Debido a sus propiedades, se utilizan mucho como refrigerantes así como en la industria de los aerosoles.

34. — Alcoholes

Generalidades. Nomenclatura. Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Alcohol metílico o metanol. Alcohol etílico o etanol. Alcoholes polivalentes. *Etilenglicol. Glicerina.*

Generalidades. — Los alcoholes son los derivados hidroxilados de los hidrocarburos, al sustituirse en éstos los átomos de hidrógeno por grupos OH. Según el número de grupos OH en la molécula, unido cada uno de ellos a distinto átomo de carbono, se tienen alcoholes mono, di, tri y polivalentes. Los alcoholes alifáticos monovalentes son los más importantes y se llaman *primarios, secundarios* y *terciarios*, según que el grupo OH se encuentre en un carbono primario, secundario o terciario :

$R{-}CH_2OH$	$\begin{matrix} R \\ R' \end{matrix} \!\!> CHOH$	$\begin{matrix} R \\ R'{-}COH \\ R'' \end{matrix}$
alcohol primario	alcohol secundario	alcohol terciario

Nomenclatura. — Los alcoholes se designan generalmente según el grupo alquílico que contienen : alcohol metílico, alcohol etílico, alcohol isopropílico, etc.

También se emplea otra denominación que consiste en sustituir la letra *-o*, terminal del hidrocarburo del cual proceden, por el sufijo *-ol* : metanol, etanol, isopropanol, etc.

Puesto que los alcoholes se pueden considerar como derivados del alcohol metílico, el cual recibe el nombre de *carbinol*, cualquiera de ellos puede llamarse atendiendo a esta significación ($CH_3{-}CH_2OH$ o metil carbinol).

Si existen varios grupos OH, se antepone el prefijo di, tri, tetra, etc., al sufijo *-ol*, según existan dos, tres, cuatro, etc., grupos oxhidrilo, indicando por números que anteceden al nombre la posición de los referidos grupos :

$CH_2OH{-}CHOH{-}CH_2OH$ 1, 2, 3-propanotriol

Cuando dos o tres grupos OH están unidos a un mismo carbono, el compuesto es inestable, perdiendo agua y transformándose en aldehído, cetona o ácido.

Obtención. — Los alcoholes se obtienen generalmente por *hidrólisis de los halogenuros de alquilo* con álcali acuoso o también óxido de plata en suspensión en agua :

$$RX + [AgOH] \rightarrow ROH + XAg$$

mediante *hidrólisis* de los ésteres con álcalis :

$$R{-}C\begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow OR' \end{matrix} + KOH \longrightarrow R{-}C\begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow OK \end{matrix} + R'OH$$

por *reducción* de aldehídos y cetonas, mediante sodio y etanol :

$$R{-}C{\lessgtr}^{O}_{H} + 2[H] \longrightarrow R{-}CH_2OH$$

$$R{-}C{\lessgtr}^{O}_{R'} + 2[H] \longrightarrow R_2CHOH$$

por *hidrólisis* de las olefinas en medio ácido :

$$CH_2{=}CH{-}CH_3 + H_2O \rightarrow CH_3{-}CHOH{-}CH_3$$

y por *acción del agua* sobre los compuestos formados al tratar los aldehídos y cetonas con los *reactivos de Grignard* (véase derivados organometálicos) :

$$H{-}C{\lessgtr}^{O}_{H} + Mg{\lessgtr}^{R}_{X} \longrightarrow H_2C{\lessgtr}^{R}_{OMgX} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{primario}}{R{-}CH_2OH} + XMg(OH)$$

$$R'{-}C{\lessgtr}^{O}_{H} + Mg{\lessgtr}^{R}_{X} \longrightarrow {}^{R'}_{H}{>}C{\lessgtr}^{R}_{OMgX} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{secundario}}{{}^{R}_{R'}{>}CHOH} + XMg(OH)$$

$$ {}^{R'}_{R''}{>}C{=}O + RMgX \longrightarrow {}^{R'}_{R''}{>}C{\lessgtr}^{R}_{OMgX} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{terciario}}{(R)(R')(R'')COH} + XMg(OH)$$

Propiedades. ***Físicas.*** — Los alcoholes son compuestos incoloros, cuyos primeros términos son líquidos solubles en agua ; del C_5 al C_{11} son aceitosos e insolubles en agua y los superiores son sólidos e insolubles en agua. El punto de ebullición aumenta con el número de carbonos; dentro de un grupo de isómeros, el alcohol primario tiene el punto de ebullición más alto, disminuyendo hasta el terciario.

Químicas. — Los alcoholes se conducen, desde el punto de vista químico, de la siguiente manera :

Reaccionan con los ácidos orgánicos e inorgánicos para formar ésteres :

$$R{-}C{\lessgtr}^{O}_{OH} + R'OH \longrightarrow R{-}C{\lessgtr}^{O}_{OR'} + H_2O$$

Con los halógenos dan productos de oxidación en los que se encuentran halógenos :

$$CH_3{-}CH_2OH \xrightarrow{Cl_2} CCl_3{-}C{\lessgtr}^{O}_{H}$$

Reaccionan con los metales fuertemente positivos :

$$2C_2H_5OH + 2Na \longrightarrow \underset{\text{etóxido sódico}}{2C_2H_5ONa} + H_2$$

Los alcoholes se deshidratan (800 °C) dando olefinas :

$$R{-}CH_2\;CH_2OH \longrightarrow R{-}CH{=}CH_2 + H_2O$$

Los alcoholes pueden oxidarse y los productos de la reacción permiten decir si el alcohol primitivo era primario, secundario o terciario.

$$CH_3{-}CH_2OH \xrightarrow{[O]} CH_3{-}C{\lessgtr}^{O}_{H} \xrightarrow{[O]} CH_3{-}C{\lessgtr}^{O}_{OH}$$

Los primarios conducen a aldehídos y posteriormente a ácidos del mismo número de carbonos :

$$ {}^{CH_3}_{CH_3}{>}CHOH \xrightarrow{[O]} CH_3{-}C{\lessgtr}^{O}_{CH_3}$$

Los secundarios dan lugar a cetonas :

$$H{-}C{\lessgtr}^{O}_{OH}$$

$$(CH_3)_3C{-}OH \xrightarrow{[O]} CH_3{-}C{\lessgtr}^{O}_{OH} + CO_2 + H_2O$$

$$CH_3{-}C{\lessgtr}^{O}_{CH_3}$$

Los terciarios son más difíciles de oxidar, pero con fuertes oxidaciones dan lugar a mezclas de cetonas y ácidos con menor número de carbonos.

Alcohol metílico o metanol. — El alcohol metílico recibe también los nombres de *metanol* y *carbinol* y su fórmula es CH_3OH. Se puede preparar por destilación de la madera, por lo que se le llama también « espíritu de madera ».

Actualmente se obtiene por reacción del óxido de carbono e hidrógeno a altas temperaturas y presiones, empleando catalizadores de óxido de cinc y cromo :

$$CO_2 + 2H_2 \rightarrow CH_3OH$$

o por oxidación catalítica del metano :

$$CH_4 + \frac{1}{2} O_2 \longrightarrow CH_3OH$$

El metanol es un líquido incoloro, muy tóxico, que provoca la ceguera e incluso la muerte si se ingiere. Es inflamable y miscible con el agua, en todas las proporciones, y con la mayoría de los disolventes orgánicos.

Se utiliza como disolvente de pinturas, barnices, lacas, etc., en la fabricación de perfumes, colorantes, etc., para la obtención del etanol desnaturalizado

y en mezclas anticongelantes para radiadores de automóviles.

Alcohol etílico o etanol. — Al alcohol etílico o *etanol* se le denomina también «espíritu de vino» y tiene la formula $CH_3—CH_2OH$. Se obtiene corrientemente por fermentación de ciertos azúcares, especialmente glucosa, y en este proceso se utilizan como materias primas las *melazas azucareras.* Puede producirse asimismo por reducción del acetaldehído, en forma de vapor, mediante tratamiento con hidrógeno en presencia de níquel :

$$CH_3—C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{smallmatrix} + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3—CH_2OH$$

Otro método de obtención es el de la hidratación del etileno con vapor de agua a presión, en presencia de catalizadores :

$$CH_2{=}CH_2 + H_2O \rightarrow C_2H_5OH$$

El etanol es un líquido incoloro, inflamable, con punto de ebullición a 78,1 °C, miscible en agua en todas las proporciones y también en la mayoría de los disolventes orgánicos.

Se utiliza en numerosas síntesis, para la preparación de ésteres, éteres, cloroformo, etc., como disolvente de resinas, pinturas, gomas, etc., en perfumería y como combustible.

Alcoholes polivalentes. — Los alcoholes polivalentes presentan varios grupos OH en la molécula, unidos a distintos átomos de carbono, y tienen propiedades químicas iguales a las de los monovalentes. Al ser mayor el número de grupos hidroxilo en el compuesto, se acentúa el sabor dulce del mismo.

Los puntos de fusión y ebullición, así como la densidad, aumentan si hay más grupos hidroxilo.

Los alcoholes divalentes se denominan *glicoles.*

Etilenglicol. — El etilenglicol, también denominado *glicol,* tiene la fórmula $CH_2OH—CH_2OH$ y se prepara haciendo pasar etileno a través de una solución alcalina de permanganato :

$$CH_2{=}CH_2 + [O] + H_2O \rightarrow CH_2OH—CH_2OH$$

También puede obtenerse hirviendo bromuro de etileno con carbonato sódico acuoso :

$$CH_2Br—CH_2Br + CO_3Na_2 + H_2O \rightarrow CH_2OH—CH_2OH + 2BrNa + CO_2$$

Es un líquido viscoso, incoloro, con el punto de ebullición a 197 °C y de sabor dulce. Es miscible en agua y etanol en todas las proporciones. Se usa mucho como disolvente y agente anticongelante. Las reacciones químicas de este compuesto son iguales que las de un alcohol primario.

Glicerina. — La glicerina se denomina también *propanotriol* y su fórmula es $CH_2OH—CHOH—CH_2OH$. Se encuentra en la Naturaleza formando parte de las grasas y aceites (ésteres de glicerina o glicéridos) y se obtiene en grandes cantidades como subproducto en la fabricación de los *jabones :*

$$\begin{matrix} CH_2OCO—C_{17}H_{35} \\ CHOCO—C_{17}H_{35} \\ CH_2OCO—C_{17}H_{35} \end{matrix} + \begin{matrix} NaOH \\ NaOH \\ NaOH \end{matrix} \rightarrow \underset{\text{jabón}}{\begin{matrix} C_{17}H_{35}—COONa \\ C_{17}H_{35}—COONa \\ C_{17}H_{35}—COONa \end{matrix}} + \underset{\text{glicerina}}{\begin{matrix} CH_2OH \\ CHOH \\ CH_2OH \end{matrix}}$$

También puede prepararse por síntesis a partir del propeno.

Es un líquido incoloro, viscoso, de sabor dulce, muy higroscópico, miscible en agua y alcohol, que se emplea en medicina, en la preparación de cosméticos, como plastificante del celofán y en la fabricación de nitroglicerina.

La *nitroglicerina* se obtiene al tratar la glicerina con ácido nítrico, en presencia de ácido sulfúrico como deshidratante :

$$\begin{matrix} CH_2OH \\ CHOH \\ CH_2OH \end{matrix} + \begin{matrix} HNO_3 \\ HNO_3 \\ HNO_3 \end{matrix} \xrightarrow{SO_4H_2} \begin{matrix} CH_2—O—NO_2 \\ CH—O—NO_2 \\ CH_2—O—NO_2 \end{matrix} + 3H_2O$$

Esta reacción, que resulta de la combinación de un alcohol con un ácido, hace que se considere este compuesto como un éster y no como un nitrocompuesto.

La nitroglicerina, líquido aceitoso que explosiona muy fácilmente por percusión y que es de difícil manipulación, forma la dinamita cuando se mezcla con tierra de infusorios, producto que es mucho más manejable. En medicina se emplea como tónico cardiaco una solución del 1 por ciento de nitroglicerina en alcohol etílico.

35. — Éteres

Generalidades. Nomenclatura. Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Éter etílico.

Generalidades. — Los éteres son compuestos orgánicos que tienen como fórmula general $C_nH_{2n+2}O$ y su estructura se expresa por R—O—R'. Pueden clasificarse como derivados de los alcoholes, al sustituir el hidrógeno del grupo hidroxilo por otro radical alquilo, y son análogos a los óxidos de los metales monovalentes, por lo que se consideran también como óxidos orgánicos (óxidos de alquilo o anhídridos de alcoholes).

Cuando los dos grupos alquilos de un éter son iguales, éste se llama *éter simétrico* o *simple* (por ejemplo $C_2H_5—O—C_2H_5$ o éter dietílico). Cuando los dos grupos alquilo son diferentes, se habla de *éter asimétrico* o *mixto* (por ejemplo $CH_3—O—C_2H_5$ o etil-metil éter).

Nomenclatura. — Los éteres se denominan de acuerdo con la naturaleza de los grupos alquilo unidos al átomo de oxígeno :

$CH_3—O—CH_3$	dimetil éter
$CH_3—O—CH_2—CH_3$	etil dimetil éter
$CH_3—CH_2—O—CH\begin{smallmatrix}\nearrow CH_3\\ \searrow CH_3\end{smallmatrix}$	etil isopropil éter

Obtención. — Los éteres pueden obtenerse por deshidratación de los alcoholes con ácido sulfúrico o también con ácido fosfórico glacial :

$$CH_3-CH_2OH+CH_3-CH_2OH \xrightarrow{SO_4H_2} C_2H_5-O-C_2H_5+H_2O$$

También se preparan calentando un alcóxido alcalino con los halogenuros de alquilo :

$$RONa + R'X \longrightarrow R—C—R' + XNa$$

Propiedades. — ***Físicas.*** — Los términos inferiores son gaseosos o líquidos volátiles de olor agradable. Tienen puntos de ebullición más bajos que los de los alcoholes del mismo número de átomos de carbono y son menos densos que el agua y poco solubles en ella.

Químicas. — Si se calientan los éteres a presión con ácido sulfúrico diluido se transforman en alcoholes :

$$R—O—R + H_2O \xrightarrow{SO_4H_2} 2ROH$$

Dan reacciones de sustitución con los halógenos :

$$CH_3—CH_2—O—CH_2—CH_3 \xrightarrow{Cl_2}$$

$$CH_3—CHCl—O—CH_2—CH_3 \xrightarrow{Cl_2}$$

$$CH_3—CHCl—O—CHCl—CH_3$$

Si esta reacción se realiza a la luz, se sustituyen todos los átomos de hidrógeno, formándose :

$$CH_3—CCl_2—O—CCl_2—CCl_3$$

Los éteres son atacados fácilmente por los ácidos bromhídrico y yodhídrico, y los productos de estas reacciones dependen de la temperatura a que se realicen :

en frío $R—O—R + BrH \rightarrow BrR + ROH$
en frío $R—O—R' + BrH \rightarrow RBr + R'OH \qquad R' > R$

Cuando se trata de un éter mixto, el bromo queda unido al radical alquílico de menor longitud :

en caliente $R—O—R + 2BrH \rightarrow 2BrR + H_2O$

Estas reacciones se emplean para identificar los grupos presentes en un éter (método de Zeisel).

Éter etílico. — El éter etílico, también denominado *éter sulfúrico, éter dietílico* o simplemente *éter*, tiene como fórmula $CH_3—CH_2—O—CH_2—CH_3$.

Se obtiene calentando alcohol con ácido sulfúrico concentrado o como subproducto de la obtención del etanol a partir del etileno y ácido sulfúrico. Es un líquido incoloro, ligeramente soluble en agua, miscible con etanol en todas las proporciones e inflamable. Forma mezclas explosivas con el aire, lo cual constituye un gran inconveniente para sus aplicaciones. El punto de ebullición es 34,5 °C.

Se utiliza en la industria como disolvente de grasas, aceites, resinas, etc. También se emplea como refrigerante y anestésico.

36. — Aldehídos y cetonas.

Generalidades. Nomenclatura. Obtención. Propiedades. *Físicas. Químicas.* Reacciones de diferenciación. Formaldehído (metanal). Acetona (dimetilcetona o propanona).

Generalidades. — Si los alcoholes constituyen el primer grado de oxidación de los hidrocarburos, los aldehídos y las cetonas representan el segundo. Se ha visto anteriormente que los alcoholes primarios se oxidan en aldehídos y los secundarios en cetonas; continuando la oxidación, se producirían ácidos orgánicos que corresponden al tercer grado de oxidación.

La fórmula general de un aldehído es $R—C{=O \atop \diagdown H}$ y la de una cetona $R—C{=O \atop \diagdown R'}$.

La existencia en ambos tipos de compuestos del grupo carbonilo $>C = O$ implica una serie de propiedades comunes, que dependen de la reactividad del doble enlace de dicho grupo.

Nomenclatura. — Los aldehídos se denominan sustituyendo la terminación *-ol* del alcohol del que derivan por la terminación *-al* :

$$\underset{\text{etanol}}{C_2H_5OH} \longrightarrow \underset{\text{etanal}}{CH_3—C{=O \atop \diagdown H}}$$

Sin embargo, suelen designarse según el nombre del ácido que originan :

$$\underset{\text{aldehído fórmico}}{H—C{=O \atop \diagdown H}} \longrightarrow \underset{\text{ácido fórmico}}{H—C{=O \atop \diagdown OH}}$$

En las cetonas se sustituye la última letra *-o* del hidrocarburo del mismo número de átomos de carbono por el sufijo *-ona :*

$$\underset{\text{propano}}{CH_3—CH_2—CH_3} \longrightarrow \underset{\text{propanona}}{CH_3—C{=O \atop \diagdown CH_3}}$$

Pero corrientemente se unen los dos radicales asociados al grupo carbonilo y después se pone la terminación *cetona :*

$$\underset{\text{dimetilcetona}}{CH_3—C{=O \atop \diagdown CH_3}} \qquad \underset{\text{metiletilcetona}}{CH_3—C{=O \atop \diagdown CH_2—CH_3}}$$

Obtención. — La obtención de aldehídos y cetonas se efectúa por *oxidación* de alcoholes primarios y secundarios hecha con dicromato potásico en medio ácido, por *hidrólisis del acetileno* para obtener un aldehído :

$$HC\equiv CH + M_2O \xrightarrow{SO_4H_2} CH_3{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle H}{\lessgtr}}}$$

por *hidrólisis de los alquinos*, salvo el acetileno, para producir cetonas :

$$CH_3{-}C\equiv CH + H_2O \longrightarrow CH_3{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle CH_3}{\lessgtr}}}$$

o haciendo pasar una mezcla de vapores de ácido fórmico y cualquiera de sus homólogos sobre catalizadores de óxido manganoso, a unos 300 °C, para obtener aldehídos. Con las cetonas se sigue el mismo sistema, pero utilizando cualquier ácido que no sea el fórmico :

$$R{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle OH}{\lessgtr}}} + H{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle OH}{\lessgtr}}} \underset{300^0}{\xrightarrow{MnO}} R{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle H}{\lessgtr}}} + CO_2 + H_2O$$

$$2R{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle OH}{\lessgtr}}} \underset{300^0}{\xrightarrow{MnO}} R{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle R}{\lessgtr}}} + CO_2 + H_2O$$

Si se emplea una mezcla de ácidos grasos, como en la segunda reacción, se producen cetonas mixtas.

Puede realizarse la *hidrólisis* de los derivados dihalogenados de los hidrocarburos con halógenos en el mismo átomo de carbono para obtener aldehídos o cetonas :

$$CH_3{-}CHCl_2 + 2H_2O \longrightarrow 2ClH + CH_3{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle H}{\lessgtr}}} + H_2O$$

$$CH_3{-}CCl_2{-}CH_3 + 2H_2O \longrightarrow 2ClH + CH_3{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle CH_3}{\lessgtr}}} + H_2O$$

o por *calefacción* de una mezcla de sales cálcicas del ácido fórmico y uno de sus homólogos para obtener aldehídos; si se utiliza cualquier ácido, excepto el fórmico, se producen cetonas y, cuando se emplean mezclas de sales cálcicas, se consiguen cetonas mixtas :

$$(R{-}COO)_2Ca + (H{-}COO)_2Ca \longrightarrow 2R{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle H}{\lessgtr}}} + 2CO_3Ca$$

$$(R{-}CO_2)_2Ca \longrightarrow R{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle R}{\lessgtr}}} + CO_3Ca$$

$$(R{-}CO_2)_2Ca + (R'{-}CO_2)_2Ca \longrightarrow 2R{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle R'}{\lessgtr}}} + 2CO_3Ca$$

Propiedades. — *Físicas.* — Con la excepción del *metanal*, que es un gas, los aldehídos y las cetonas que tienen hasta diez átomos de carbono son líquidos de olor agradable, sobre todo las últimas. Son muy solubles en disolventes orgánicos, pero sólo son solubles en agua los primeros términos de cada clase. Esta solubilidad en agua es mucho mayor en disoluciones de ácidos fuertes, puesto que aceptan protones y forman sales de oxonio.

Químicas. — La reactividad de aldehídos y cetonas se debe al carácter no saturado del grupo carbonilo.

Por reducción se obtienen los alcoholes correspondientes :

$$\overset{R}{\underset{H}{>}}C{=}O + [H] \longrightarrow R{-}CH_2OH$$

$$\overset{R}{\underset{R}{>}}C{=}O + [H] \longrightarrow R{-}CHOH{-}R$$

Con el bisulfito sódico se producen compuestos cristalinos poco solubles :

$$>C{=}O + HOSO_2Na \longrightarrow >C{\overset{\displaystyle OH}{\underset{\displaystyle OSO_2Na}{\lessgtr}}}$$

Adicionan ácido cianhídrico para formar *cianhidrinas :*

$$>C{=}O + HCN \longrightarrow >C{\overset{\displaystyle OH}{\underset{\displaystyle CN}{\lessgtr}}}$$

Con el pentacloruro de fósforo dan dicloruros :

$$>C{=}O + Cl_5P \longrightarrow >CCl_2 + POCl_3$$

Con la hidroxilamina componen *oximas* (aldoximas y cetoximas) :

$$>C{=}O + NH_2OH \longrightarrow >C{=}N{-}OH + H_2O$$

Con la fenilhidracina forman *fenilhidrazonas :*

$$>C{=}O + NH_2{-}NH{-}C_6H_5 \longrightarrow >C{=}N{-}NH{-}C_6H_5 + H_2O$$

Con la semicarbazida dan *semicarbazonas :*

$$>C{=}O + NH_2{-}NH{-}CO{-}NH_2 \longrightarrow >C{=}N{-}NH{-}CO{-}NH_2 + H_2O$$

Con la hidrazina constituyen *hidrazonas* y *azinas :*

$$>C{=}O + NH_2{-}NH_2 \rightarrow >C{=}N{-}NH_2 \qquad \text{hidrazona}$$

$$>C{=}O + NH_2{-}NH_2 + O{=}C< \longrightarrow >C{=}N{-}N{=}C< \qquad \text{azina}$$

Las oximas, fenilhidrazonas y semicarbazonas son sustancias cristalinas cuya formación sirve para caracterizar tanto a los aldehídos como a las cetonas.

Reacciones de diferenciación. — A diferencia de las cetonas, los aldehídos son reductores fuertes, lo que se manifiesta con una disolución de NO_3Ag amoniacal, que les hace depositar un espejo brillante de plata metálica *(reactivo de Tollens)*, y con el *reactivo de Fehling* (disolución alcalina de sulfato cúprico y tartrato sódico potásico), al formarse un precipitado de óxido cúprico de color rojo.

Los aldehídos se polimerizan fácilmente, formando sustancias de elevado peso molecular sin alterar la composición elemental. Las cetonas no se polimerizan.

$$3CH_3-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{smallmatrix} \xrightarrow{SO_4H_2} CH_3-HC\begin{smallmatrix} O-CH(CH_3)-O \end{smallmatrix}CH-CH_3$$

paraldehído

Los aldehídos, contrariamente a las cetonas, reaccionan con los alcoholes y forman *acetales* :

$$R-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{smallmatrix} + HOR' \xrightarrow{Cl_2Ca} R-CH\begin{smallmatrix}\nearrow OH\\ \searrow OR'\end{smallmatrix} + H_2O$$

hemiacetal

$$R-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{smallmatrix} + 2HOR' \xrightarrow{Cl_2Ca} R-CH\begin{smallmatrix}\nearrow OR'\\ \searrow OR'\end{smallmatrix}$$

acetal

Formaldehído (metanal). — El formaldehído, llamado también *metanal* o *aldehído fórmico*, se prepara haciendo pasar vapores de metano sobre cobre a 300 ºC :

$$CH_3OH \xrightarrow[300\ ºC]{Cu} H-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{smallmatrix} + H_2$$

mezclando vapores de metanol y aire sobre un catalizador de plata a 300 ºC :

$$CH_3OH + \frac{1}{2}O_2 \xrightarrow{Ag} H-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{smallmatrix} + H_2O$$

o por oxidación del gas natural.

El formaldehído, gas incoloro de olor picante, se licúa a − 21 ºC y es muy soluble en agua. Disuelto al 40 por ciento en agua, da el *formol*. Éste contiene un poco de metanol, que impide que se deposite el paraformaldehído sólido. El formaldehído se condensa con el amoniaco formando *urotropina* (hexametilentetramina) :

$$6H-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{smallmatrix} + 4NH_3 \longrightarrow 6H_2O + (CH_2)_6N_4$$

urotropina

Este compuesto se emplea como antiséptico de las vías urinarias, en la industria del plástico y en la vulcanización del caucho.

El formaldehído tiene mucha importancia en la fabricación de plásticos y resinas artificiales. La *baquelita* resulta de su condensación con fenol, la *galatita* se obtiene tratándolo con caseína, y la urea forma con él el *pollopas*, producto transparente utilizado para fabricar parabrisas de automóviles.

El aldehído fórmico es un producto desinfectante y antiséptico. Hace insolubles a las materias albuminoideas y evita su descomposición.

Acetona (dimetilcetona o propanona). — La acetona, llamada también *dimetilcetona* o *propanona*, se prepara industrialmente haciendo pasar vapor de isopropanol sobre cobre a 300 ºC :

$$CH_3-CHOH-CH_3 \xrightarrow[300\ ºC]{Cu} CH_3-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow CH_3\end{smallmatrix} + H_2$$

o haciendo pasar vapor de etanol, mezclado con vapor de agua, sobre un catalizador a 500 ºC :

$$2CH_3-CH_2OH + H_2O \longrightarrow CH_3-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow CH_3\end{smallmatrix} + CO_2 + 4H_2$$

La acetona es un líquido incoloro de olor agradable, miscible con agua en todas las proporciones, lo mismo que con el etanol y el éter, y tiene el punto de ebullición a 56 ºC. Se emplea como disolvente del acetileno, nitrato de celulosa, celuloide y lacas y en la industria del *plexiglás*, polímero del *metacrilato de metilo* :

$$CH_3-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow CH_3\end{smallmatrix} + CNH \longrightarrow$$

$$CH_3-C(OH)(CH_3)-CN \xrightarrow{SO_4H_2} CH_2=C(CH_3)-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow OH\end{smallmatrix} + H_2O$$

$$CH_2=C(CH_3)-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow OH\end{smallmatrix} + CH_3OH \longrightarrow$$

$$H_2O + CH_2=C(CH_3)-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow OCH_3\end{smallmatrix}$$

metacrilato de metilo

37. — Ácidos orgánicos

Generalidades. Ácidos grasos. *Obtención. Ácidos grasos superiores. Ácidos grasos no saturados. Ácido fórmico (metanoico). Ácido acético (etanoico). Ácido acrílico. Ácido oleico.* — Diácidos. *Ácido oxálico (etanodioico).*

Generalidades. — Los ácidos orgánicos contienen carbono, oxígeno e hidrógeno y se encuentra en su molécula el radical monovalente *carboxilo* —COOH. Se denominan *monoácidos* cuando sólo hay un grupo carboxilo, *diácidos* y *triácidos*, si tienen respectivamente dos o tres, etc.

Poseen las mismas propiedades que los ácidos en general, es decir, enrojecen el papel de tornasol, dan reacciones de neutralización con las bases, atacan a los metales desprendiendo hidrógeno, etc., y se hallan disociados, aunque débilmente, en iones H^+ de la forma siguiente :

$$R-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow OH\end{smallmatrix} \rightleftarrows R-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow O^-\end{smallmatrix} + H^+$$

Con los alcoholes forman ésteres por la reacción llamada de esterificación :

$$R-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right. + R'OH \longrightarrow R-C\left\langle{}^{O}_{OR'}\right. + H_2O$$

Con los halógenos reaccionan realizándose sustituciones de los átomos de hidrógeno contenidos en el carbono vecino de la función ácido :

$$CH_3-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right. + Cl_2 \longrightarrow CH_2Cl-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right. + ClH$$

Con los cloruros de fósforo dan cloruros de ácido :

$$3CH_3-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right. + Cl_3P \longrightarrow PO_3H_3 + 3CH_3-C\left\langle{}^{O}_{Cl}\right.$$

Estos cloruros reaccionan con el agua, regenerando el ácido orgánico.

Mediante hidrogenación a presión pueden reducirse a los alcoholes primarios correspondientes.

Por pérdida de una molécula de agua entre dos de ácido se transforman en anhídridos :

$$\begin{matrix} CH_3-C\left\langle{}^{O}_{\boxed{OH}}\right. \\ CH_3-C\left\langle{}^{O}_{O\boxed{H}}\right. \end{matrix} \longrightarrow \begin{matrix} CH_3-C\left\langle{}^{O}_{\;}\right. \\ \qquad\quad O + H_2O \\ CH_3-C\left\langle{}^{\;}_{O}\right. \end{matrix}$$

La descomposición de sus sales de calcio permite obtener *cetonas*, como ya se explicó en el capítulo anterior.

Ácidos grasos. — Los ácidos grasos reciben este nombre porque algunos de los que figuran en esta serie se encuentran en las grasas naturales. La fórmula general es

$$C_nH_{2n}O_2 \quad \text{o bien} \quad -C\left\langle{}^{O}_{OH}\right.$$

Estos ácidos presentan un solo grupo carboxilo, por lo que se llaman también ácidos monocarboxílicos saturados, y son monoácidos, con una constante de ionización mucho más elevada que los alcoholes y mucho menor que la de los ácidos inorgánicos fuertes.

Se designan a partir del nombre del hidrocarburo del cual derivan, sustituyendo la letra terminal *-o* por el sufijo *-oico* (*etanoico, propanoico*, etc.).

Adoptan también denominaciones características que recuerdan el nombre de los productos naturales de los cuales pueden sacarse, como es el caso de los ácidos *fórmico* (de las hormigas), *butírico* (de la manteca), *acético* (del vinagre).

Obtención. — Los ácidos grasos se preparan por oxidación de alcoholes, aldehídos y cetonas, realizada con dicromato potásico en medio ácido :

$$R-CH_2OH \xrightarrow{[O]} R-C\left\langle{}^{O}_{H}\right. \xrightarrow{[O]} R-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right.$$

$$R-CHOH-R' \xrightarrow{[O]} R-C\left\langle{}^{O}_{R'}\right. \xrightarrow{[O]}$$

$$R-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right. + R'-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right.$$

por reacción entre el dióxido de carbono y un reactivo de Grignard :

$$Mg\left\langle{}^{R}_{X}\right. + CO_2 \longrightarrow R-C\left\langle{}^{O}_{OMgX}\right.$$

$$\xrightarrow{H_2O} R-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right. + Mg\left\langle{}^{OH}_{X}\right.$$

por hidrólisis, ácida o básica, de nitrilos :

$$R-C\equiv N + H_2O \longrightarrow \underset{\text{amida}}{R-C}\left\langle{}^{O}_{NH_2}\right.$$

$$\xrightarrow{H_2O} R-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right. + NH_3$$

por hidrólisis de las grasas naturales, que permiten obtener muchos ácidos grasos superiores, y por acción de un ácido inorgánico fuerte sobre sales orgánicas :

$$CH_3-C\left\langle{}^{O}_{ONa}\right. + ClH \longrightarrow ClNa + R-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right.$$

Ácidos grasos superiores. — Los ácidos grasos superiores reciben los nombres de *propiónico* (3 carbonos), *butírico* (4 carbonos) y *valeriánico* (5 carbonos). El ácido butírico se halla en la mantequilla, en forma de glicérido, y se forma en ciertas fermentaciones. Los ácidos *caprónico, caprílico* y *caprínico* (con 6, 8 y 10 átomos de carbono) se encuentran en la manteca de la leche de vaca y cabra.

Los ácidos *palmítico* $CH_3-(CH_2)_{14}-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right.$ y *esteárico* $CH_3-(CH_2)_{16}-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right.$ se sacan del sebo y sirven para la fabricación de velas.

Ácidos grasos no saturados. — Los ácidos grasos no saturados presentan un doble enlace en la cadena y pueden obtenerse de dos maneras : a partir de compuestos no saturados, formando después el grupo ácido, o partiendo de ácidos y produciendo en la cadena carbonada el doble enlace.

Estos compuestos presentan las propiedades ácidas del grupo carboxilo y las de insaturación del doble enlace.

Ácido fórmico (metanoico). — La fórmula del ácido fórmico es $H-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right.$. Lo segregan las hormigas rojas, de donde se deriva el nombre. Se encuentra también en el veneno de las abejas, en las orugas procesionarias y en las ortigas.

Se prepara industrialmente por acción del óxido de carbono, a presión de seis atmósferas, sobre potasa cáustica o cal sodada :

$$CO + KOH \longrightarrow H-C\left\langle{}^{O}_{OK}\right. \xrightarrow{SO_4H_2} SO_4HK + H-C\left\langle{}^{O}_{OH}\right.$$

Este ácido, el más fuerte de la serie, es un líquido incoloro, de olor picante y cáustico, muy reductor, ya que al descomponerse da CO y H_2, y se disuelve en agua en todas las proporciones.

Ácido acético (etanoico). — La fórmula de este ácido es $CH_3{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OH\end{smallmatrix}$

Se forma en la oxidación biológica del alcohol etílico, por efecto del *micoderma aceti.* Se encuentra en los alquitranes procedentes de la destilación de la madera, de donde se extrae industrialmente.

También se puede obtener a partir del acetileno :

$$CH\equiv CH + H_2O \xrightarrow{Hg^{++}} CH_3{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -H\end{smallmatrix} \xrightarrow{O_2} CH_3{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OH\end{smallmatrix}$$

Es un líquido incoloro, soluble, de olor picante, muy higroscópico y se solidifica en cristales *(acético glacial)* a 16,5 °C.

Además de usarse como condimento (vinagre), el ácido acético se emplea en el estampado de la lana y de la seda, en farmacia, para la fabricación de aspirinas, y en la preparación de lacas y barnices.

Ácido acrílico. — La fórmula del ácido acrílico es

$$CH_2{=}CH{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OH\end{smallmatrix}$$

Se obtiene en la industria por acción del ácido cianhídrico sobre el óxido de etileno, saponificando el nitrilo formado. Es un líquido que se solidifica a 12,3 °C y hierve a 142 °C.

Sirven para fabricar plásticos (plexiglás y acryloid) el *acrilato de metilo*

$$CH_2{=}CH{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OCH_3\end{smallmatrix}$$

y el *metacrilato de metilo*, cuya fórmula desarrollada es

$$CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OCH_3\end{smallmatrix}$$

Ácido oleico. — La fórmula del ácido oleico es :

$$CH_3{-}(CH_2)_7{-}CH{=}CH{-}(CH_2)_7{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OH\end{smallmatrix}$$

$$C_{17}H_{33}{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OH\end{smallmatrix}$$

Este compuesto se encuentra en las grasas y aceites como principal componente. Se solidifica a 16 °C, se separa mediante filtración a presión de los otros ácidos grasos formados al saponificar los aceites y, por hidrogenación catalítica, se transforma en ácido esteárico, mientras que la trioleína líquida se solidifica.

Diácidos. — Los diácidos son dicarboxílicos, de fórmula general C_nH_{2n} $(COOH)_2$. Tienen nombres comunes, pero también pueden denominarse alkanodioicos. Se obtienen por los métodos generales correspondientes a los ácidos monoácidos, o sea, oxidación de glicoles, dialdehídos, saponificación de dinitrilos, etc.

Forman sales cálcicas al tener dos grupos carboxilo.

El carácter ácido es mayor que el de los monoácidos y es tanto más elevado cuanto más próximos se encuentren los grupos carboxilo.

Ácido oxálico (etanodioico). — El ácido oxálico, de fórmula COOH—COOH, se encuentra en diversas plantas (trébol) en forma de sal potásica. Se obtiene por reacción del ácido nítrico con los azúcares. Es un ácido fuerte, pero inestable y, al calentarlo, se descompone en CO, CO_2 y H_2O. Se emplea en análisis, como reductor, y en la determinación del calcio y el magnesio. Se usa también como mordiente en el estampado de tejidos y en la fabricación de tintas y colorantes.

38. — Derivados de los ácidos

Ésteres. *Obtención. Propiedades químicas.* Cloruros de ácido. *Preparación y propiedades.* Anhídridos de ácido. Amidas. *Propiedades.*

Al sustituir los ácidos en el grupo carboxilo se obtienen derivados. Si se reemplaza el átomo de hidrógeno por un metal o por un grupo alquilo, se forman respectivamente *sales* y *ésteres.* La eliminación de una molécula de agua entre dos moléculas de ácido da lugar a los *anhídridos de ácido* $\begin{matrix}R{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -O\end{smallmatrix}\\ R{-}C\begin{smallmatrix}-O\\ =O\end{smallmatrix}\end{matrix}$ La sustitución del grupo OH por un halógeno cualquiera origina *haluros de acilo* $R{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -X\end{smallmatrix}$ y por un grupo $-NH_2$ *amidas.*

Ésteres. — Al reaccionar un ácido inorgánico u orgánico con un alcohol, se elimina agua y se forma un éster, en el que el hidrógeno ácido ha sido reemplazado por un radical alquilo. Los ésteres, aunque de constitución análoga a las sales, se diferencian de éstas en que no se ionizan. Son también insolubles en agua y muy abundantes en la Naturaleza, determinando el olor de las flores y frutas. Se designan cambiando la terminación *-oico* del ácido por la de *-ato* (nitrato de etilo, etanoato de metilo).

Obtención. — Los ésteres se preparan por reacción de los yoduros de alquilo con sales de plata :

$$CH_3{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OAg\end{smallmatrix} + ICH_3 \longrightarrow CH_3{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OCH_3\end{smallmatrix} + IAg$$

por la acción de un cloruro de ácido sobre un alcohol :

$$CH_3{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -Cl\end{smallmatrix} + NaOC_2H_5 \longrightarrow CH_3{-}C\begin{smallmatrix}=O\\ -OC_2H_5\end{smallmatrix} + ClNa$$

o por la conocida reacción de esterificación :

$$SO_4H_2 + C_2H_5OH \rightleftarrows C_2H_5OSO_2OH + H_2O$$

$$CH_3-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow OH\end{smallmatrix} + HOC_2H_5 \longrightarrow C_2H_3-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow OC_2H_5\end{smallmatrix} + H_2O$$

Hay que observar que en la reacción de esterificación se sustituye el grupo OH del ácido y no el del alcohol.

Propiedades químicas. — En las reacciones de los ésteres, la cadena se rompe siempre en un enlace sencillo, ya sea entre el oxígeno y el alcohílo R, ya sea entre el oxígeno y el grupo R—CO—, eliminando así el alcohol o uno de sus derivados (R'I, R'—O—Mg—X, por ejemplo).

La *saponificación* de los ésteres, llamada así por analogía con la formación de *jabones* a partir de las grasas, es la reacción inversa de la esterificación :

$$R-CO-O-R'+HO-H \longrightarrow R-CO-OH+R'-O-H$$

El rendimiento de la reacción es limitado cuando la saponificación se realiza con agua, pero puede ser total por adición de un ácido mineral o de un álcali. En este caso, el ácido llega a tener forma de sal alcalina :

$$R-CO-O-R'+HO-Na \longrightarrow R-CO-ONa+R'-OH$$

El ácido se obtiene fácilmente a partir de esta sal, por reacción con ácido clorhídrico (método general de preparación de los ácidos a partir de sus sales).

Los ácidos bromhídrico y yodhídrico desdoblan los ésteres con formación de bromuro o de yoduro de alcohílo :

$$R-CO-O-R'+I-H \longrightarrow R-CO-O-H+R'I$$

El amoniaco (NH_3) da lugar a la amida y libera alcohol :

$$R-CO-O-R'+H-NH_2 \longrightarrow R-CO-NH_2+R'-OH$$

Los ésteres se hidrogenan con mayor facilidad que los ácidos, empleándose generalmente el éster etílico tratado con una mezcla de sodio y alcohol, y se condensan entre sí en presencia de sodio y con las cetonas.

Cloruros de ácido. — Los cloruros de ácido tienen por fórmula general

$$R-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow Cl\end{smallmatrix} \quad o \quad R-COCl$$

y pueden considerarse como derivados de los radicales monovalentes R—CO—.

No se ha logrado aislar hasta el presente el cloruro correspondiente al ácido fórmico.

Preparación y propiedades. — Los cloruros de ácido se preparan por reacción de los agentes clorurantes con los ácidos. Entre los más importantes y empleados pueden mencionarse el *pentacloruro de fósforo* (PCl_5), que se transforma en oxicloruro ($POCl_3$) :

$$R-CO-OH + PCl_5 \rightarrow R-CO-Cl + POCl_3 + ClH$$

así como el *cloruro de tionilo* ($SOCl_2$) o cloruro del ácido sulfuroso (SO_3H_2) :

$$R-CO-OH + SOCl_2 \rightarrow R-CO-Cl + SO_2 + ClH$$

Los cloruros de ácido son líquidos, de olor sofocante, humean al aire y hierven a temperatura más baja que los ácidos correspondientes. Dan lugar prácticamente a las mismas reacciones que los ácidos, en las que se pone en libertad hidrácido en vez de agua. En general, los cloruros poseen mayor tendencia a la reacción que los ácidos y se descomponen inmediatamente por acción del agua, regenerando el ácido graso y desprendiendo ácido clorhídrico :

$$R-CO-Cl+H-OH \longrightarrow R-CO-OH+ClH$$

Con los alcoholes se transforman en ésteres :

$$R-CO-Cl+H-O-R' \longrightarrow R-CO-O-R'+ClH$$

La reacción con el amoniaco da directamente las amidas :

$$R-CO-Cl + NH_3 \rightarrow R-CO-NH_2 + ClH$$

Las aminas primarias y secundarias dan amidas alcohiladas. En cambio, las aminas terciarias no reaccionan con los cloruros de ácido. Las sales sódicas de los ácidos dan lugar a la formación de anhídridos. Por reacción del hidrógeno se pueden producir alcoholes primarios :

$$R-CO-Cl + 2H_2 \rightarrow R-CH_2OH + ClH$$

Anhídridos de ácido. — Los anhídridos de ácido, cuya fórmula general es R—CO—O—CO—R, se forman teóricamente por eliminación de una molécula de agua entre dos moléculas de ácido. Se preparan por reacción de la sal sódica de un ácido con el cloruro correspondiente :

$$R-CO-ONa+Cl-CO-R \longrightarrow R-CO-O-CO-R+ClNa$$

Se presentan en estado líquido y sólido y reaccionan como los cloruros de ácido, liberando siempre una molécula de ácido graso en vez de ácido clorhídrico. Se emplean menos que los cloruros.

Amidas. — Las amidas responden a la fórmula general $R-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow NH_2\end{smallmatrix}$ Se preparan deshidratando las sales amónicas de los ácidos grasos :

$$R-CO-O-NH_4 \longrightarrow R-CO-NH_2 + H_2O$$

Se forman igualmente en la reacción de los cloruros de ácido con el amoniaco y en la hidratación de los nitrilos. Se denominan en función del ácido del que se derivan : *formamida* (H—CO—NH_2), *acetamida* (CH_3—CO—NH_2), etc.

Propiedades. — Las amidas se presentan en forma de sólidos cristalizados, y la determinación de su punto de fusión puede servir para caracterizar los ácidos de los que se derivan. Son solubles en el alcohol y en el éter, pero sólo los primeros términos de la serie son solubles en agua.

Las amidas constituyen el término intermedio de hidratación entre los nitrilos ($R-C\equiv N$) y las sales amónicas de los ácidos ($R-CO-O-NH_4$) :

$$R-C\equiv N \xrightarrow{+H_2O} R-CO-NH_2 \xrightarrow{+H_2O} R-CO_2NH_4$$

Se hidratan por acción de los ácidos minerales o de los álcalis diluidos y se transforman en ácidos grasos.

En cambio, los deshidratantes conducen a la formación de nitrilos. Son, al mismo tiempo, bases y ácidos muy débiles, lo que hace que formen sales muy hidrolizables con el ácido clorhídrico. Pueden engendrar además derivados sódicos tales como :

$$R—CO—NH—Na$$

Esta propiedad, característica de ciertos cuerpos, que consiste en poder formar en distintas condiciones el catión o el anión de una sal, constituye el carácter *anfótero* de los mismos.

Por acción del hipoclorito o del hipobromito de sodio, las amidas $R—CO—NH_2$ se transforman en aminas $R—NH_2$. El átomo de carbono de la amida se elimina en forma de anhídrido carbónico.

39. — Compuestos nitrogenados

Nitrilos. *Preparación* y *propiedades.* Ácido cianhídrico. Aminas. *Obtención. Propiedades* y *diferenciación.* Aminoácidos. *Obtención. Propiedades químicas.* Proteínas. *Proteínas simples. Proteidos.*

Nitrilos. — Los nitrilos, de fórmula general

$$R—C \equiv N$$

se denominan corrientemente según el nombre del ácido correspondiente (acetonitrilo, propionitrilo, etc.). El nitrilo fórmico es el ácido cianhídrico.

A menudo, los nitrilos reciben el nombre de *cianuros de alcohilo.* Así, el acetonitrilo o etanonitrilo ($CH_3—C{\equiv}N$) se llama cianuro de metilo. Estas denominaciones destruyen la armonía de la nomenclatura.

Preparación y propiedades. — Los nitrilos se preparan, en general, para la obtención ulterior de los ácidos correspondientes, deshidratando las amidas o las sales amónicas :

$$CH_3—C\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow NH_2\end{matrix} \xrightarrow{P_2O_5} H_2O + \underset{\text{etanonitrilo}}{CH_3—C \equiv N}$$

o por reacción entre los halogenuros de alquilo con un cianuro :

$$ICH_3 + CNK \longrightarrow IK + CH_3—C \equiv N$$

En los nitrilos, líquidos tóxicos de olor etéreo, sólo los primeros términos son solubles en agua.

Estos compuestos nitrogenados, en los que existe el triple enlace $—C \equiv N$, que favorece las reacciones de adición, se hidrolizan con ácidos o álcalis, dando ácidos :

$$R—C \equiv N \xrightarrow{H_2O} R—C\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow NH_2\end{matrix} \xrightarrow{H_2O} R—C\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow OH\end{matrix} + NH_3$$

Con amoniaco seco dan amidinas :

$$R—C \equiv N + NH_3 \longrightarrow R—C\begin{matrix}\nearrow NH \\ \searrow NH_2\end{matrix}$$

El hidrógeno naciente los reduce a aminas :

$$R—C \equiv N \xrightarrow[Ni]{H_2} R—CH{=}NH \xrightarrow{H_2} R—CH_2—NH_2$$

Con reactivos de Grignard dan cetonas :

$$R—C \equiv N + Mg\begin{matrix}\nearrow R' \\ \searrow X\end{matrix} \longrightarrow$$

$$R—\overset{R'}{\overset{|}{C}}{=}NMgX \xrightarrow{H_2O} R—C\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow R'\end{matrix}$$

Ácido cianhídrico. — El ácido cianhídrico ($H—C \equiv N$) se encuentra en las almendras amargas. Berthelot realizó la síntesis haciendo saltar una chispa eléctrica en una mezcla de acetileno y nitrógeno. Generalmente, este compuesto se prepara por acción de los ácidos diluidos sobre los cianuros o ferrocianuros alcalinos.

Este ácido, muy tóxico, es un líquido, en su forma anhidra, que se solidifica a − 15 ºC y hierve a 26,5 ºC. Tiene olor a almendras amargas y las sales derivadas de él, de carácter muy complejo, como los ferrocianuros, se hidrolizan mucho y se descomponen con el ácido carbónico.

Aminas. — Las aminas se consideran como derivados del amoniaco y resultan de la sustitución de los hidrógenos de la molécula por radicales alquilo. Según se sustituyan uno, dos o tres hidrógenos, las aminas serán *primarias, secundarias* o *terciarias,* respectivamente.

Se designan poniendo la terminación *-amina,* característica de la serie, al nombre de los grupos alquilo unidos al nitrógeno

$CH_3—NH_2$ metilamina
$(CH_3)_2NH$ dimetilamina
$(CH_3)_2NC_2H_5$ dimetiletilamina

Las aminas son *simples* cuando los grupos alquilo son iguales y *mixtas* si éstos son diferentes.

Obtención. — Se obtiene una mezcla de aminas primarias, secundarias y terciarias por el *método de Hoffman,* consistente en calentar los halogenuros de alquilo con una solución etanólica de amoniaco en tubo cerrado :

$$R—Cl + HNH_2 \rightarrow ClH + R—NH_2$$
$$RNH_2 + RCl \rightarrow ClH + (R)_2NH$$
$$(R)_2NH + RCl \rightarrow ClH + R_3N$$
$$R_3N + RCl \rightarrow \underset{\text{sal de amonio cuaternaria}}{[R_4N]^+Cl^-}$$

Por destilación fraccionada en una solución de KOH se consigue separar las tres aminas, gracias a la diferencia que existe entre sus puntos de ebullición, y la sal de amonio permanece inalterada.

Las aminas primarias se pueden preparar también reduciendo con hidrógeno (sodio + alcohol) los nitrilos :

$$CH_3—C \equiv N + 2H_2 \longrightarrow C_2H_5—NH_2 \text{ etilamina}$$

Las aminas secundarias se obtienen por reducción de un isocianuro de alquilo :

$$R—N \equiv C + 2H_2 \longrightarrow R—NH—CH_3$$

Las aminas terciarias se consiguen calentando una solución etanólica de amoniaco con un halogenuro de alquilo :

$$3RX + NH_3 \rightarrow R_3N + 3XH$$

Propiedades y diferenciación. — En las aminas, los términos más bajos son gaseosos y solubles en agua, los intermedios son líquidos y los superiores sólidos. La solubilidad en agua disminuye según aumenta el peso molecular. Los primeros términos son volátiles y de olor amoniacal.

Todas las aminas son bases, incluso más fuertes que el amoniaco :

$$R{-}NH_2 + H_2O \rightleftarrows RNH_3^+ + OH^-$$

Reaccionan con los ácidos, formando sales de amonio :

$$CH_3{-}NH_2 + ClH \rightarrow [CH_3{-}NH_3]^+Cl^-$$

Reaccionan con los halogenuros de alquilo, dando halogenuros de amonio alquilo sustituidos.

Los tres tipos de aminas se diferencian principalmente por su comportamiento con el ácido nitroso :

Las *primarias* suelen formar alcohol y desprender nitrógeno :

$$C_2H_5{-}NH_2 + NO_2H \rightarrow H_2O + N_2 + C_2H_5OH$$

Las *secundarias* forman *nitrosaminas :*

$$(C_2H_5)_2NH + NO_2H \rightarrow H_2O + (C_2H_5)_2N{-}NO$$

Las *terciarias* no reaccionan con el ácido nitroso.

Aminoácidos. — Los aminoácidos son compuestos derivados de los ácidos, en que uno de los hidrógenos de la cadena carbonada se ha sustituido por un grupo amino. Éste puede ocupar las posiciones α, β, γ, δ, etc. (carbonos 1, 2, 3, 4, etc., contando desde el grupo carboxilo) y los aminoácidos serán α, β, γ, δ, etc., según su colocación :

$$CH_3{-}\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{|}{CH}}{-}CH_2{-}COOH \quad \text{ácido } \beta - \text{aminobutírico}$$

Obtención. — Los aminoácidos se forman en la hidrólisis profunda de las proteínas, por acción del ácido cianhídrico sobre aldehídos y cetonas :

$$R{-}C\begin{matrix}\diagup\!\!\!\!=O\\ \diagdown H\end{matrix} + HCN \longrightarrow H{-}\overset{\displaystyle R}{\underset{\displaystyle CN}{C}}{-}OH \xrightarrow{NH_3}$$

$$H{-}\overset{\displaystyle R}{\underset{\displaystyle CN}{C}}{-}NH_2 \xrightarrow{HOH} H{-}\overset{\displaystyle R}{\underset{\displaystyle COOH}{C}}{-}NH_2$$

α-aminoácido

y por acción del amoniaco sobre los ácidos grasos halogenados :

$$ClCH_2{-}C\begin{matrix}=O\\ OH\end{matrix} + NH_3 \longrightarrow \underset{\displaystyle NH_2}{CH_2}{-}C\begin{matrix}=O\\ OH\end{matrix} + ClH$$

Propiedades químicas. — Los aminoácidos son electrólitos anfóteros, dado que presentan el carácter ácido del grupo carboxilo y el carácter básico debido al grupo amino.

Los α-aminoácidos pierden dos moléculas de agua al condensarse dos grupos ácidos, dando anhídridos cíclicos :

$$\begin{matrix}CH_2{-}NH_2 & HOOC\\ | & |\\ COOH & NH_2{-}CH_2\end{matrix} \longrightarrow 2H_2O + \begin{matrix}CH_2{-}NH{-}CO\\ | \qquad\qquad |\\ CO{-}\ NH{-}CH_2\end{matrix}$$

dicetopiperacina

Los β-aminoácidos pierden una molécula de amoniaco, formándose ácidos no saturados :

$$\underset{\displaystyle NH_2}{CH_2}{-}CH_2{-}COOH \longrightarrow CH_2{=}CH{-}COOH + NH_3$$

Los γ-aminoácidos pierden una molécula de agua, formándose *lactamas :*

$$\underset{\displaystyle NH_2}{CH_2}{-}CH_2{-}CH_2{-}C\begin{matrix}=O\\ OH\end{matrix} \longrightarrow \underbrace{CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}C}_{NH}{=}O + H_2O$$

Por acción del ácido clorhídrico, los aminoácidos forman cloruros de ácido. Para que esta reacción sea posible, se protege el grupo amino con cloruro de acetilo :

$$\underset{\displaystyle NH_2}{CH_2}{-}C\begin{matrix}=O\\ OH\end{matrix} \xrightarrow{ClH} \underset{\displaystyle NH_2}{CH_2}{-}C\begin{matrix}=O\\ Cl\end{matrix} + H_2O$$

El cloruro de ácido puede reaccionar con otra molécula de aminoácido, formándose entonces un *dipéptido.* Este proceso puede continuar, formándose en general *polipéptidos :*

$$\underset{\displaystyle NH_2}{CH_2}{-}C\begin{matrix}=O\\ Cl\end{matrix} + \underset{\displaystyle NHH}{CH_2}{-}C\begin{matrix}=O\\ OH\end{matrix} \longrightarrow$$

$$ClH + \underset{\displaystyle NH_2}{CH_2}{-}\overset{\displaystyle O}{\overset{\|}{C}}{-}NH{-}CH_2{-}C\begin{matrix}=O\\ OH\end{matrix}$$

Entre los aminoácidos neutros, constituidos por un grupo amino y otro ácido, los más importantes son la *glicocola*, la *alanina*, la *valina*, la *leucina*, la *cistina*, etc. Entre los ácidos, formados por un grupo amino y dos grupos ácidos, se encuentran el *ácido aspártico* y el *ácido glutámico.* Entre los básicos, compuestos de dos grupos aminos y un grupo ácido, se hallan la *arginina* y la *lisina.*

Proteínas. — Las proteínas o *albuminoides* son sustancias de constitución química compleja, que se consideran fundamentales en la organización de los seres vivos ya que forman el componente principal de las células. Sus constituyentes fundamentales son, sin embargo, los *aminoácidos.* Los vegetales las elaboran a expensas de la energía solar y los animales las asimilan tomándolas en el reino vegetal, para descomponerlas en productos simples y sintetizar con éstos las suyas propias.

Según los productos que originan al hidrolizarse, las proteínas se dividen en dos grupos : las *simples* o naturales, que por hidrólisis dan α-aminoácidos o deri-

vados de éstos, y los *proteidos*, que, aparte de formar aminoácidos en la hidrólisis, también se desdoblan en otros cuerpos *(grupos prostéticos).*

Proteínas simples. — Las proteínas simples se clasifican a su vez en *albúminas*, coagulables por el calor y solubles en agua (*lactoalbúmina* de la leche y *seroalbúmina* de la sangre), *globulinas*, coagulables también por el calor, pero insolubles en agua (*seroglobulina* y *fibrinógeno* en el suero de la sangre), y *escleroproteínas*, insolubles en agua (*queratina* del pelo y *colágeno* de los tejidos óseo, conjuntivo y cartilaginoso, que constituyen los órganos de sostén y de protección de los animales).

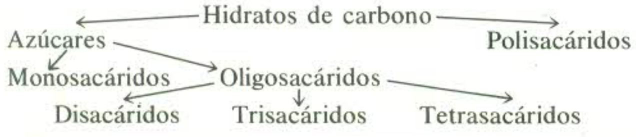
Proteidos. — Los proteidos se clasifican en *cromoproteidos*, proteínas unidas a un componente coloreado, por lo cual su grupo prostético es un colorante (los más importantes son la *hemoglobina*, que contiene hierro, y la *hemocianina*, que contiene cobre y se encuentra en la sangre de los crustáceos); *fosfoproteidos*, cuyo grupo prostético es el ácido fosfórico (el más importante es la *caseína* de la leche); y *núcleoproteidos*, del grupo prostético de un ácido nucleico.

40. — Hidratos de carbono

Generalidades. Monosacáridos. *Glucosa. Fructosa.* Oligosacáridos. Polisacáridos. *Almidón. Celulosa y derivados.*

Generalidades. — Desde el punto de vista funcional, los hidratos de carbono son polialcoholes con un grupo aldehído *(aldosas)* o un grupo cetónico *(cetosas)* o compuestos más complejos que al hidrolizarse dan estos productos. Tienen como fórmula $C_X(H_2O)_Y$ y reciben este nombre porque contienen hidrógeno y oxígeno en la misma proporción que el agua. Actualmente se denominan *glúcidos*, para indicar así que a este grupo pertenecen cuerpos de sabor dulce.

Los hidratos de carbono se dividen en dos clases principales : *azúcares* y *polisacáridos*. Los azúcares son productos cristalinos, solubles en agua y de sabor dulce. La mayoría de los polisacáridos, de gran complejidad, son sólidos cristalinos, insolubles o poco solubles en agua, que no tienen sabor dulce.



Los azúcares, a su vez, se subdividen en *monosacáridos*, productos que no se hidrolizan y con fórmula general $C_nH_{2n}O_n$ (*n* representa un número comprendido entre 2 y 10), y *oligosacáridos*, productos que, por hidrólisis, dan lugar a dos, tres o cuatro moléculas de monosacáridos (disacáridos, trisacáridos o tetrasacáridos).

Monosacáridos. — Según tengan un grupo aldehído o un grupo cetónico, los grupos funcionales de los monosacáridos son :

$\mathrm{C}(=\mathrm{O})\mathrm{H}$	$\mathrm{C{=}O}$
CHOH	CHOH
aldosa	cetosa

Por el número de carbonos que tienen se llaman triosas, tetrosas, pentosas, etc. Los más importantes son las *hexosas*, que, junto con las *pentosas*, son prácticamente los únicos que existen en la Naturaleza.

Los monosacáridos son sólidos cristalinos de sabor dulce, solubles en agua y alcohol.

Las propiedades químicas, características de sus funciones, son que reaccionan con los ácidos dando ésteres; las aldosas y algunas cetosas tienen carácter reductor, como se ve con el *licor de Fehling* en caliente, y forman espejo metálico con el nitrato de plata; las aldosas se distinguen de las cetosas según su comportamiento frente a los oxidantes. Las primeras dan un solo ácido del mismo número de átomos de carbono y las segundas rompen la cadena por el grupo $>\mathrm{C{=}O}$ y dan dos ácidos.

Glucosa. — La glucosa es una *aldohexosa* que se encuentra en algunas frutas, principalmente en la uva. Su fórmula desarrollada es

$$
\begin{array}{c}
\mathrm{C}\overset{\displaystyle =\mathrm{O}}{\diagdown \mathrm{H}} \\
| \\
\mathrm{H{-}C{-}OH} \\
| \\
\mathrm{HO{-}C{-}H} \\
| \\
\mathrm{H{-}C{-}OH} \\
| \\
\mathrm{H{-}C{-}OH} \\
| \\
\mathrm{CH_2OH}
\end{array}
$$

Se obtiene por hidrólisis de la sacarosa del almidón o de la celulosa con ácidos diluidos o por la acción de algunos fermentos :

$$\underset{\text{sacarosa}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{glucosa}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{levulosa}}{C_6H_{12}O_6}$$

azúcar invertido

$$\underset{\text{almidón}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + nH_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{glucosa}}{n(C_6H_{12}O_6)}$$

La glucosa, sólido blanco, cristalino y dulce, tiene el punto de fusión a 86 ^{0}C, es dextrógira y su poder rotatorio disminuye hasta alcanzar 52^0 *(mutarrotación)*. Se oxida con agua de bromo y se convierte en ácido glucónico, cuya sal cálcica se emplea en medicina. Si se oxida con ácido nítrico, se forma el ácido sacárico, cuya sal potásica, poco soluble, se emplea para reconocer la presencia de glucosa. Fermenta con algunos microorganismos, dando alcohol etílico y anhídrido carbónico.

Fructosa. — La fructosa es una *cetohexosa*, cuya fórmula desarrollada es

```
     CH₂OH
      |
      C=O
      |
  HO—C—H
      |
   H—C—OH
      |
   H—C—OH
      |
     CH₂OH
```

Constituye el azúcar de las frutas y también aparece en la miel. Se puede obtener industrialmente por hidrólisis de la sacarosa.

La fructosa es un sólido que cristaliza más difícilmente que la glucosa. Posee un sabor dulce más intenso que esta última y fermenta del mismo modo que ella. Es fuertemente levógira.

Oligosacáridos. — Los oligosacáridos más importantes son los *disacáridos*, cuya fórmula general es $C_{12}H_{22}O_{11}$, que están formados por dos moléculas de monosacáridos unidas mediante un puente oxígeno.

Todos los disacáridos son sólidos cristalinos solubles en agua. Los más importantes son la *maltosa* o azúcar de malta, que se encuentra en el grano germinado de la cebada y por hidrólisis se desdobla en dos moléculas de glucosa; la *lactosa* o *azúcar de leche*, formada por una molécula de glucosa y otra de galactosa, que es un azúcar reductor y presenta mutarrotación; la *sacarosa*, azúcar ordinario extraído de la caña de azúcar y la remolacha, que es un sólido blanco, con punto de fusión a 180 °C, que cristaliza en el sistema monoclínico, tiene sabor dulce y se disuelve en agua, pero difícilmente en alcohol. Su fórmula desarrollada es

```
   ┌───────────┐          CH₂OH
 H-C───────────┼-O ────── C ──────────┐
   |           |          |           |
 H-C-OH        O     HO-C-H           O
   |           |          |           |
HO-C-H         |      H-C-OH          |
   |           |          |           |
 H-C-OH        |      H-C ────────────┘
   |           |          |
 H-C───────────┘         CH₂OH
   |
  CH₂OH                        o también
```

```
                                   O
        CH₂OH                     / \
          |———O                  /   \
     H  / H    \ H       CH₂OH        \ H
       /        \          |           \
 OH   \ OH   H  /——O——————/             / CH₂OH
       \       /          H           OH
        |—————|            |—————————|
        H    OH            OH        H
```

El ácido sulfúrico concentrado carboniza la sacarosa, obteniéndose así carbono casi puro. Por hidrólisis con ácidos diluidos, la sacarosa se desdobla en glucosa y fructosa. Como esta segunda (levógira) tiene una rotación específica mayor que la primera (dextrógira), la mezcla resultante es levógira. La mezcla equimolecular de estos dos disacáridos se denomina *azúcar invertido*, debido a que el carácter dextrógiro de la sacarosa se ha invertido al hidrolizarse.

Polisacáridos. — Los polisacáridos, hidratos de carbono complejos de peso molecular elevado, están formados por muchas moléculas de monosacáridos con pérdida de las moléculas de agua correspondientes. No poseen carácter reductor ni tienen sabor dulce y son insolubles en agua, aunque algunos forman dispersiones coloidales.

Almidón. — El almidón, cuya fórmula es $(C_6H_{10}O_5)_n$, se encuentra en los órganos de reserva de las plantas (semillas, raíces, tubérculos, etc.) como resultado de la asimilación del carbono por la función clorofílica. Se puede obtener de las semillas y tubérculos. Éstos se trituran hasta formar una papilla que se arrastra con agua y, después de la sedimentación, se separa el almidón.

Este cuerpo es un sólido blanco que no se disuelve en agua fría, pero en agua caliente se hincha y da un líquido viscoso llamado *engrudo de almidón*. No reduce el *licor de Fehling*. Por hidrólisis con ácidos diluidos, se transforma en glucosa : $(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6$.

Esta transformación puede realizarse con algunas enzimas como la *amilasa*.

Celulosa y derivados. — La celulosa es el hidrato de carbono de más complejidad. Su fórmula es $(C_6H_{10}O_5)_n$, siendo el valor de *n* de 3 000 a 5 000.

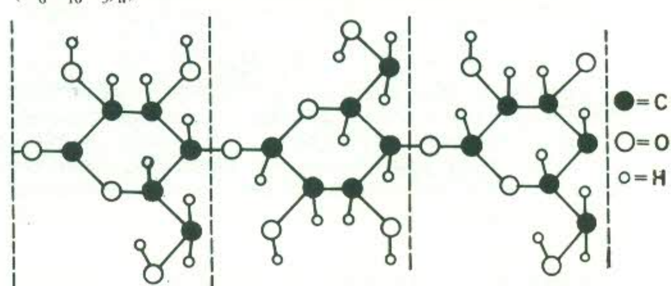


Fig. 34. ***Estructura de la macromolécula de la lulosa.***

Es el primer constituyente de las paredes celulares de las plantas y quizá el compuesto más repartido en la Naturaleza. Las fibras de algodón, lino y cáñamo son celulosa prácticamente pura. Ésta es blanca, amorfa e insoluble en agua y en la mayoría de los disolventes ordinarios.

Si se trata el algodón con una mezcla de ácidos nítrico y sulfúrico, se obtienen ésteres nítricos de la celulosa, pero si el grado de nitración es elevado se produce un explosivo muy fuerte llamado *nitrocelulosa*, que arde con rapidez y detona violentamente. El poder detonante de esta sustancia se debe a que en su descomposición se forma gran cantidad de gases :

$$2C_6H_7O_2(NO_3)_3 \rightarrow 4H_2 + 3H_2O + 5CO + 2CO_2 + 3N_2$$

Si se disuelve nitrocelulosa con un grado de nitración bajo en alcanfor fundido, se forma *celuloide*.

La *seda artificial* se obtiene al tratar la celulosa con hidróxido sódico, formándose así la celulosa sódica. Si se disuelve esta sustancia en sulfuro de carbono, se forma un líquido espeso que se hace pasar por una hilera y por un baño de ácido sulfúrico, con lo cual se produce la precipitación de la celulosa en forma de hilos finos. La *seda viscosa* o *rayón viscoso* es la más corriente de todas las sedas artificiales.

41. — Derivados organometálicos. Reactivos de Grignard

Generalidades. Derivados organomagnesianos mixtos. *Empleo de los reactivos de Grignard. Reacciones. Algunas síntesis orgánicas.* Derivados orgánicos mixtos del cinc. Derivados organometálicos simples.

Generalidades. — Los derivados organometálicos se obtienen exclusivamente por síntesis, al hacer reaccionar los metales o ciertas aleaciones con los halogenuros de alcohílo, y no son más que productos realizados con la reducción de estos cuerpos. Se dividen en derivados *mixtos,* en cuya molécula hay halógeno, y derivados *simples,* que contienen solamente radicales carbonados.

Los derivados organomagnesianos mixtos, de fórmula general R—Mg—X (X representa el halógeno), revisten una importancia capital en las síntesis orgánicas, y los del cinc (R—Zn—X) se utilizan en ciertas reacciones. Los ejemplos siguientes facilitarán la comprensión de la nomenclatura de estos compuestos. CH_3—Mg—Br es el bromuro de metilmagnesio, C_2H_5—Zn—I, el yoduro de etil-cinc, $(C_2H_5)_2Zn$, el cinc dietilo, etc.

Derivados organomagnesianos mixtos. — Los derivados organomagnesianos o *sales de alcohilmagnesio,* descubiertos por el químico francés Victor **Grignard** (1871-1935), se obtienen por reacción del magnesio en cinta o en polvo con el halogenuro de alcohílo correspondiente. El metal divalente se adiciona pura y simplemente :

$$R—Br + Mg \rightarrow R—Mg—Br$$

Para llevar a cabo este tipo de reacciones, es preciso operar en presencia de éter anhidro, que activa el metal, y en ausencia completa de agua.

El éter forma con la sal de alcohilmagnesio un complejo que se disuelve en el disolvente. Se observa así que el magnesio desaparece a medida que la reacción continúa.

Empleo de los reactivos de Grignard. — En general, casi nunca se debe aislar la sal de alcohilmagnesio obtenida de este modo y, en la mayoría de los casos, ésta se introduce en el mismo matraz que contiene el cuerpo sobre el que se desea provocar la reacción.

En este tipo de reacciones, el reactivo de Grignard se escinde siempre en dos restos monovalentes, R— y —MgX, los cuales se fijan ya en dos radicales diferentes (reacciones de doble descomposición), ya en una misma molécula (reacciones de adición). En ambos casos se termina la operación tratando con agua el contenido del matraz.

Si se representa el nuevo compuesto obtenido por A—Mg—X, su descomposición por el agua se efectuará de acuerdo con la ecuación :

$$\begin{matrix} H—OH \\ + A—MgX \end{matrix} \longrightarrow AH + Mg\begin{matrix} X \\ OH \end{matrix}$$

El esquema X—Mg—OH no corresponde a ningún cuerpo mineral definido y, en realidad, simboliza la mezcla equimolecular de halogenuro MgX_2 e hidróxido de magnesio

$$Mg\begin{matrix} OH \\ OH \end{matrix}$$

Reacciones. — Los resultados logrados con los reactivos de Grignard pueden ser de dos tipos : de adición a compuestos con un enlace múltiple y de doble descomposición con compuestos que contienen un átomo de hidrógeno activo. Ambos provocan las reacciones siguientes :

Se adicionan a las funciones :

$$>C{=}O \quad >S{=}O \quad —N{=}O \quad >C{=}S \quad —C{\equiv}N$$

En todas las reacciones, el grupo alquilo (R) se adiciona al átomo de menor afinidad y el grupo MgX al de mayor afinidad electrónica :

$$>C{=}O + \begin{matrix} R \\ X \end{matrix}>Mg \longrightarrow \begin{matrix} R \\ | \\ C—OMgX \end{matrix}$$

Los reactivos de Grignard no se adicionan a los carbonos unidos por doble enlace o triple enlace.

Dado que los hidrógenos activos son los que están unidos al oxígeno, al nitrógeno y al azufre, algunas de las reacciones posibles serán :

$$Mg\begin{matrix} R \\ X \end{matrix} + HOH \longrightarrow RH + Mg\begin{matrix} OH \\ X \end{matrix}$$

$$Mg\begin{matrix} R \\ X \end{matrix} + CH_3—CH_2OH \longrightarrow RH + Mg\begin{matrix} OCH_2—CH_3 \\ X \end{matrix}$$

$$Mg\begin{matrix} R \\ X \end{matrix} + NH_2H \longrightarrow RH + Mg\begin{matrix} NH_2 \\ X \end{matrix}$$

Las reacciones indicadas dan lugar a hidrocarburos saturados o parafinas.

Algunas síntesis orgánicas. — Los reactivos de Grignard pueden originar las siguientes síntesis :

Se obtienen *parafinas* por síntesis de este reactivo con un compuesto que tenga hidrógeno activo.

Se forman *alcoholes* haciéndolos reaccionar con formaldehído (alcoholes primarios), aldehídos distintos del formaldehído (alcoholes secundarios) y cetonas (alcoholes terciarios) :

$$H—C\begin{matrix} {=}O \\ H \end{matrix} + Mg\begin{matrix} R \\ X \end{matrix} \longrightarrow H_2C\begin{matrix} OMgX \\ R \end{matrix} \xrightarrow{H_2O} R—CH_2OH + Mg\begin{matrix} X \\ OH \end{matrix}$$

$$R—C\begin{matrix} {=}O \\ H \end{matrix} + Mg\begin{matrix} R' \\ X \end{matrix} \longrightarrow R—HC\begin{matrix} OMgX \\ R' \end{matrix} \xrightarrow{H_2O} R—CHOH—R' + Mg\begin{matrix} X \\ OH \end{matrix}$$

$$R—C\begin{matrix} {=}O \\ R' \end{matrix} + Mg\begin{matrix} R'' \\ X \end{matrix} \longrightarrow \begin{matrix} R \\ R' \end{matrix}>C\begin{matrix} OMgX \\ R'' \end{matrix} \xrightarrow{H_2O} R'—\begin{matrix} R \\ | \\ C \\ | \\ R'' \end{matrix}—OH + Mg\begin{matrix} X \\ OH \end{matrix}$$

Si reaccionan con formiato de etilo, se obtienen aldehídos, pero hay que procurar que el reactivo de Grignard no esté en exceso, porque si no produciría un alcohol secundario :

$$H{-}C\genfrac{}{}{0pt}{}{=O}{OC_2H_5} + Mg\genfrac{}{}{0pt}{}{R}{X} \longrightarrow H{-}\underset{R}{\underset{|}{C}}\genfrac{}{}{0pt}{}{OMgX}{OC_2H_5} \longrightarrow$$

$$R{-}C\genfrac{}{}{0pt}{}{=O}{H} + Mg\genfrac{}{}{0pt}{}{OC_2H_5}{X}$$

Si reaccionan con dióxido de carbono, en estado sólido, se obtienen ácidos :

$$C\genfrac{}{}{0pt}{}{=O}{=O} + Mg\genfrac{}{}{0pt}{}{R}{X} \longrightarrow R{-}C\genfrac{}{}{0pt}{}{=O}{OMgX} \xrightarrow{H_2O}$$

$$R{-}C\genfrac{}{}{0pt}{}{=O}{OH} + Mg\genfrac{}{}{0pt}{}{X}{OH}$$

Si reaccionan con el cianógeno, se forman nitrilos :

$$C_2N_2 + Mg\genfrac{}{}{0pt}{}{R}{X} \longrightarrow R{-}C\equiv N + Mg\genfrac{}{}{0pt}{}{CN}{X}$$

Derivados orgánicos mixtos del cinc. — Estos derivados R—Zn—X, también llamados *sales de cincalcohílo,* se preparan de manera casi análoga a la que permite obtener las sales de alcohilmagnesio. Son menos activos que éstas y no reaccionan con las cetonas. A partir de estos compuestos, y de los cloruros de ácido, se logran numerosas síntesis. La reacción se reduce a la doble descomposición :

$$R'{-}\overset{O}{\overset{\|}{C}}{-}\boxed{Cl + X{-}Zn}{-}R \longrightarrow R'{-}C\genfrac{}{}{0pt}{}{=O}{R} + ZnXCl$$

Derivados organometálicos simples. — Para obtener los derivados simples de magnesio y de cinc, basta con calentar los derivados mixtos correspondientes :

$$2R{-}Mg{-}I \rightarrow R{-}Mg{-}R + MgI_2$$

La manipulación de estos compuestos es delicada, ya que se inflaman espontáneamente.

El *tetraetilplomo* [$(C_2H_5)_4Pb$] es un derivado organometálico que se obtiene por reacción del bromuro de etilo (C_2H_5Br) sobre una aleación de plomo y sodio. Si se adiciona en pequeña dosis a la gasolina, actúa como antidetonante, lo que permite aumentar el rendimiento del motor porque se puede utilizar una compresión mucho mayor.

42. — Compuestos alicíclicos

Generalidades. Compuestos terpénicos. Esteroles.

Generalidades. — Se estudian en Química orgánica numerosos compuestos que contienen anillos cerrados, formados únicamente por átomos de carbono. A este tipo de compuestos se les denomina *carbocíclicos.* En este grupo se incluye una serie de sustancias con propiedades muy parecidas a los compuestos alifáticos, que reciben por este motivo el nombre de *alicíclicos* o alifáticos cíclicos.

Se dividen en *ciclanos, ciclenos* y *cicladienos,* según sean saturados o posean uno o dos dobles enlaces :

$$\begin{array}{ccc} CH_2{-}CH_2 \\ |\quad\;\; | \\ CH_2\;\; CH_2 \\ \diagdown\;\diagup \\ CH_2 \end{array} \qquad \begin{array}{ccc} CH_2{-}CH \\ |\quad\;\; \| \\ CH_2\;\; CH \\ \diagdown\;\diagup \\ CH_2 \end{array} \qquad \begin{array}{ccc} CH{-}CH \\ \|\quad\;\; \| \\ CH\;\; CH \\ \diagdown\;\diagup \\ CH_2 \end{array}$$

Los ciclos pueden comprender de 3 a 8 átomos de carbono (ciclopropano, ciclobutano, ciclopentano, ciclohexano, cicloheptano, ciclooctano).

Las cicloparafinas de 5 y 6 átomos de carbono se encuentran en el petróleo; los anillos de 3, 4 y 5 carbonos se hallan en los terpenos, que constituyen las sustancias más importantes de los compuestos alicíclicos. Se pueden obtener tratando los derivados dihalogenados con cinc o sodio :

$$CH_2\genfrac{}{}{0pt}{}{CH_2Br}{CH_2Br} + Zn \longrightarrow CH_2\genfrac{}{}{0pt}{}{CH_2}{\underset{|}{}CH_2} + Br_2Zn$$

o destilando las sales cálcicas de ácidos dicarboxílicos :

$$\begin{array}{l} CH_2{-}CH_2{-}C\genfrac{}{}{0pt}{}{=O}{O} \\ |\qquad\qquad\qquad\quad Ca \\ CH_2{-}CH_2{-}C\genfrac{}{}{0pt}{}{O}{=O} \end{array} \longrightarrow \begin{array}{l} \begin{array}{l} CH_2{-}CH_2 \\ CH_2{-}CH_2 \end{array}\!\!\!>CO + CO_3Ca \\ \quad\searrow H_2 \\ \begin{array}{l} CH_2{-}CH_2 \\ CH_2{-}CH_2 \end{array}\!\!\!>CH_2 \end{array}$$

Los compuestos del *ciclohexano* se obtienen fácilmente por hidrogenación catalítica de los compuestos bencénicos, en presencia de níquel finamente dividido. Así, el benceno (C_6H_6) conduce a la formación del *ciclohexano* (C_6H_{12}), el fenol ($C_6H_5{-}OH$) al *ciclohexanol* ($C_6H_{11}{-}OH$), que posee las propiedades de un alcohol secundario, y la anilina ($C_6H_5{-}NH_2$) a la *ciclohexilamina* ($C_6H_{11}{-}NH_2$).

En general, se asimilan a este grupo algunos compuestos acíclicos con diez átomos de carbono, que tienen la propiedad de formar fácilmente ciclos por isomerización.

Compuestos terpénicos. — Los compuestos terpénicos, de fórmula general $C_{10}H_{16}$, comprenden una serie de hidrocarburos, llamados *terpenos,* así como los alcoholes, aldehídos y cetonas que se derivan de ellos. Se dividen en *acíclicos,* con tres enlaces dobles, *monocíclicos,* con una cadena cerrada y dos enlaces dobles, y *bicíclicos,* con dos cadenas cerradas ligadas entre sí por medio de un *puente* (enlace suplementario entre car-

bonos solidarios del ciclo). Los últimos citados presentan un solo enlace doble, son muy variados y existen en las esencias naturales o aceites vegetales extraídos por destilación de los órganos olorosos de los vegetales.

Si se exceptúa el *canfeno*, que es sólido, los terpenos son líquidos incoloros, generalmente activos a la luz polarizada. Se isomerizan y polimerizan fácilmente. A continuación damos las fórmulas desarrolladas de algunos de estos compuestos terpénicos. Entre ellos el *limoneno* tiene olor a limón y se encuentra en las esencias de limón y de bergamota, y el *pineno* es el constituyente principal de las esencias de trementina.

mirceno (terp. acíclico) — limoneno (terp. monocícl.) — pineno, canfeno (terp. bicíclicos)

geraniol — mentol — carvona — alcanfor

Entre los derivados terpénicos citaremos el *geraniol*, alcohol acíclico con olor a rosa, el *citral*, aldehído correspondiente al anterior y con olor a limón, el *mentol*, alcohol monocíclico extraído de la esencia de menta, la *mentona*, cetona correspondiente al precedente, la *carvona*, cetona monocíclica presente en las esencias de comino y de eneldo, y el *alcanfor*, cetona bicíclica.

Al lado de los terpenos ($C_{10}H_{16}$) se encuentran, en los aceites esenciales, los *sesquiterpenos* ($C_{15}H_{24}$) y los *diterpenos* ($C_{20}H_{32}$), que hierven a temperaturas elevadas y cuya constitución no ha sido aún completamente establecida.

El caucho puede ser considerado como un producto de polimerización de un hidrocarburo no saturado (C_5H_8), llamado *isopreno*, que se asemeja a los terpenos. Dada su fórmula, puede asimilarse a un *hemiterpeno* :

$$C_5H_8 = \frac{1}{2} C_{10}H_{16}$$

Esteroles. — Los esteroles, que corresponden a la función alcohol, se hallan muy difundidos en los reinos vegetal y animal. Entre los más importantes, se puede mencionar el *colesterol* ($C_{27}H_{46}O$) :

Numerosos compuestos naturales presentan estructuras de tipo similar y se llaman *esteroides*.

43. — Compuestos aromáticos

Derivados aromáticos. Núcleo o anillo bencénico. *Constitución. Fórmulas simplificadas. Isomería.* Funciones derivadas del núcleo. Nomenclatura.

Derivados aromáticos. — Dado que numerosos cuerpos olorosos naturales corresponden a la serie bencénica (vocablo derivado etimológicamente de *benjuí*), se designa frecuentemente ésta con el nombre de *serie aromática* y, por extensión, se llaman derivados aromáticos a todos sus compuestos. Conviene, sin embargo, recordar que muchos compuestos llamados aromáticos no desprenden olores agradables y que otros cuerpos que sí lo tienen no pertenecen exclusivamente a la serie bencénica (ésteres, compuestos terpénicos, etc.).

Núcleo o anillo bencénico. — *Constitución.* — El benceno o benzol (C_6H_6) se representa generalmente por la fórmula trietilénica propuesta por Kekulé. Hay, no obstante, que observar que la molécula tiene una simetría hexagonal perfecta y que a las dos fórmulas diferentes en apariencia, que se pueden atribuir a un derivado disustituido (esquemas *1* y *2*), corresponde única y exclusivamente un mismo cuerpo. El núcleo bencénico suele ser muy estable y resistente a la oxidación. Conserva su integridad en numerosas reacciones químicas.

benceno

(1)

(2)

Representaciones equivalentes de un dialcohilbenceno

Se puede explicar este hecho si se admite la posibilidad de que los enlaces dobles emigren fácilmente en el interior del núcleo.

Fórmulas simplificadas. — En general, el núcleo se representa por un hexágono que contiene tres enlaces dobles. Los derivados de sustitución se formulan inscribiendo, frente al vértice correspondiente del hexágono, los radicales que reemplazan al hidrógeno.

Los esquemas que se dan a continuación son, respectivamente, los del *benceno*, el *metilbenceno* o *tolueno* y un *dicloro benceno*.

Las fórmulas correspondientes a estas tres figuras se ponen frecuentemente sin desarrollar los núcleos :

C_6H_6 $\quad$ $C_6H_5—CH_3$ $\quad$ $C_6H_4 \langle {Cl \atop Cl}$

Isomería. — La isomería de los derivados del núcleo bencénico depende de las posiciones que ocupan los radicales sustituyentes. Éstas se determinan numerando de 1 a 6 los vértices del hexágono (uno de los grupos ocupa la posición 1).

En tales condiciones, si todos los radicales son idénticos, existen :

un derivado *monosustituido* :

clorobenceno

tres derivados *disustituidos*, que se diferencian por las apelaciones *orto* (posición 1-2), *meta* (posición 1-3) y *para* (posición 1-4) o, en abreviatura, *o, m, p* :

1-2 orto (*o*) $\quad$ 1-3 meta (*m*) $\quad$ 1-4 para (*p*)

diclorobencenos

tres derivados *trisustituidos* (1.2.3., 1.2.4., 1.3.5.); posiciones designadas por las letras *v* (vecino), *a* (asimétrico) y *s* (simétrico);

tres derivados *tetrasustituidos* (1.2.3.4., 1.2.4.5., 1.2.4.6.) :

un derivado *pentasustituido* C_6HCl_5 (pentaclorobenceno); y un derivado *hexasustituido* C_6Cl_6 (hexaclorobenceno).

Si todos los radicales no son idénticos, el número de isómeros es mayor.

De todos modos existen solamente tres isómeros disustituidos, incluso si los radicales son diferentes :

orto — meta — para

clorotolueno

$C_6H_4{<}^{CH_3\ 1}_{Cl\ \ 2}$ $C_6H_4{<}^{CH_3\ 1}_{Cl\ \ 3}$ $C_6H_4{<}^{CH_3\ 1}_{Cl\ \ 4}$

Funciones derivadas del núcleo. — Las funciones derivadas del núcleo difieren sensiblemente de las funciones acíclicas. Las principales son :

derivado halogenado (C_6H_5—Cl), derivado nitrado (C_6H_5—NO_2), derivado sulfonado (C_6H_5—SO_3H), fenol (C_6H_5—OH), arilamina (C_6H_5—NH_2)

Nomenclatura. — Los cuerpos se designan en general mediante nombres particulares : *tolueno* (C_6H_5—CH_3), *resorcinol* $C_6H_4{<}^{OH\ 1}_{OH3}$, etc., o, enunciando los nombres de los radicales sustituyentes : el tolueno es el *metilbenceno* y el resorcinol es el *metadihidroxibenceno.*

Se llama *arilos,* por oposición a alcohílos o alquilos, a los radicales derivados del núcleo bencénico.

El radical monovalente C_6H_5— o *fenilo* (de fenol) es un arilo.

Existen tres homólogos isómeros $C_6H_4{<}^{CH_3}$, los *toluilos* o *cresilos* (orto, meta y para).

El radical divalente $C_6H_4<$ es conocido con el nombre de *fenileno.* Existen tres fenilenos : *orto, meta* y *para.*

44. — Hidrocarburos bencénicos

Propiedades químicas generales. Reacciones. *De adición del núcleo. De sustitución. De las cadenas laterales.* Pirogenación de los hidrocarburos bencénicos. *Propiedades físicas. Preparación. Términos particulares.*

Propiedades químicas generales. — En los hidrocarburos bencénicos, que son los cuerpos más simples de la serie, hay que diferenciar el *núcleo* del benceno de las *cadenas laterales acíclicas* que se fijan en él.

Ya se ha indicado respecto al núcleo que el carácter de no saturación es poco acentuado. A pesar de ello, se pueden obtener, con los compuestos a que da lugar, reacciones de *adición* que, naturalmente, son menos frecuentes que las reacciones de *sustitución.* Se estudiarán a continuación las propiedades químicas del núcleo y de las cadenas laterales.

Reacciones. — *De adición del núcleo.* — Las reacciones de adición del núcleo son en primer lugar la *hidrogenación* de éste, que puede ser realizada por vía catalítica en presencia de níquel, transformándose así, por adición de seis átomos de hidrógeno, en el ciclohexano C_6H_{12}, de cadena cerrada. Y, en segundo lugar, se pueden fijar, por influencia de la luz solar, seis átomos de cloro o de bromo en una molécula de benceno :

$C_6H_6 + 3Cl_2 \rightarrow C_6H_6Cl_6$ hexacloruro de benceno

Esta conducta de los halógenos presenta un carácter bastante excepcional, puesto que los derivados de sustitución son los que se forman preferentemente.

De sustitución. — El núcleo bencénico da lugar a reacciones de sustitución con mucho mayor facilidad que los hidrocarburos saturados, ya que sus átomos de hidrógeno son mucho más móviles.

Formación de derivados nitrados. El ácido nítrico concentrado reacciona con el benceno eliminando agua :

$$C_6H_5-\boxed{H+HO}-NO_2 \longrightarrow C_6H_5-NO_2+H_2O$$

Se obtiene así un derivado nitrado.

Formación de derivados sulfonados. El ácido sulfúrico concentrado o fumante reacciona con el núcleo bencénico y da lugar a los derivados sulfonados o ácidos sulfónicos :

$$C_6H_5-\boxed{H+HO}-SO_3H \longrightarrow C_6H_5-SO_3H+H_2O$$

La unión del arilo con el radical sulfónico se efectúa por mediación del átomo de azufre.

La nitración y la sulfonación son otras tantas reacciones características de los núcleos, y los derivados sulfonados y nitrados desempeñan un papel importante en síntesis.

Halogenación del núcleo. El cloro y el bromo pueden fijarse en el núcleo por sustitución, con eliminación de hidrácido :

$$C_6H_5-\boxed{H+Cl}-Cl \longrightarrow C_6H_5-Cl+HCl$$

Se producen así los derivados halogenados del núcleo, menos reactivos que los de la serie acíclica. Para obtener estos cuerpos es necesario operar en presencia de catalizadores y en medio anhidro. Se pueden fijar varios halógenos, incluso en las cadenas laterales.

Reacciones de Friedel y Crafts. Los derivados clorados acíclicos y los cloruros de ácidos reaccionan con el núcleo de los hidrocarburos bencénicos, con elimina-

ción de ácido clorhídrico. Esta reacción se efectúa en presencia de cloruro de aluminio anhidro ($AlCl_3$), que actúa como catalizador. Se forma, en una etapa intermedia, un compuesto organometálico inestable.

Estas condensaciones, descubiertas por el científico francés Charles FRIEDEL (1832-1899) y el químico norteamericano James Mason CRAFTS (1839-1917), han permitido realizar numerosas síntesis. A continuación se darán algunos ejemplos :

La acción de los halogenuros de alcohílo conduce a la formación de los hidrocarburos bencénicos homólogos :

$$C_6H_5-\boxed{H+Cl}-CH_3 \longrightarrow C_6H_5-CH_3+HCl$$

Los derivados policlorados dan lugar a hidrocarburos con varios núcleos o con núcleos complejos; el cloroformo, por ejemplo, se condensa con tres moléculas de benceno y conduce así al trifenilmetano :

$$H-C\begin{cases}\boxed{Cl+H}-C_6H_5\\ \boxed{Cl+H}-C_6H_5\\ \boxed{Cl+H}-C_6H_5\end{cases} \longrightarrow H-C\begin{cases}C_6H_5\\ C_6H_5\\ C_6H_5\end{cases}+3HCl$$

Los cloruros de ácidos forman cetonas :

$$C_6H_5-\boxed{H+Cl}-CO-CH_3 \longrightarrow C_6H_5-CO-CH_3+HCl$$

Condensaciones diversas. Los aldehídos y los ácidos aromáticos pueden condensarse con el núcleo bencénico, con eliminación de agua. Estas reacciones ocurren con mayor facilidad en presencia de las funciones fenoles o aminas.

REGLAS QUE RIGEN LAS SUSTITUCIONES. — Cuando se fija un nuevo radical en un núcleo que posee ya una sustitución, la naturaleza del primer sustituyente determina las posiciones en las cuales puede fijarse el segundo. La presencia en el núcleo de uno cualquiera de los radicales —R, —X, —OH, $—NH_2$ (R es un alcohílo y X un halógeno) orienta simultáneamente el segundo en las posiciones *orto* y *para*. En cambio, los radicales $—CO_2H$, $—NO_2$, $—SO_3H$ orientan el segundo sustituyente en la posición *meta*.

Así, la cloruración del tolueno conduce a la formación de los dos clorotoluenos *orto* y *para :*

CH_3 CH_3 CH_3

$+Cl_2 \longrightarrow$ Cl

Cl

orto *para*

Ocurre otro tanto cuando se fija un átomo de cloro en el clorobenceno.

La cloruración sucesiva del benceno puede dar lugar, como se ve, al derivado hexaclorado Cl_6C_6. En cambio, el nitrobenceno ($C_6H_5—NO_2$) se nitra de nuevo en *meta*. El dinitrobenceno da a continuación el derivado trinitrado 1—3—5 :

NO_2 NO_2 NO_2

$+ \xrightarrow{NO_3H}$ $+ \xrightarrow{NO_3H}$

NO_2 NO_2 NO_2

nitrobenceno m-dinitrobenceno s-trinitrobenceno

Resulta, por tanto, imposible obtener por nitración directa más de tres radicales NO_2 en el benceno.

De las cadenas laterales. — Las cadenas laterales presentan las propiedades generales de los radicales acíclicos y las funciones que se fijan son entre sí comparables. El compuesto $C_6H_5—CH_2OH$ ofrece, de manera especial, todos los caracteres de los alcoholes. Sin embargo, la vecindad del núcleo confiere al primer átomo de carbono de la cadena lateral una sensibilidad particular a la oxidación y cierta tendencia a la halogenación.

Oxidación. Cuando se hace reaccionar un oxidante (ácido nítrico diluido, permanganato potásico, mezcla sulfocrómica) con un núcleo en el que están fijadas dos cadenas laterales, éstas se transforman en una función ácido, fijada directamente en el núcleo. El ataque de las cadenas es tanto más fácil cuanto más largas y más ramificadas sean. Así, los hidrocarburos monosustituidos :

$$C_6H_5—CH_3 \qquad C_6H_5—C_2H_5 \qquad C_6H_5—CH\begin{cases}CH_3\\ CH_3\end{cases}$$

conducen todos a la formación del mismo ácido $C_6H_5—COOH$ (ácido benzoico). Cuando el núcleo consta de varias cadenas, se obtienen poliácidos. Estas reacciones de oxidación ofrecen gran interés, puesto que permiten determinar la posición de las cadenas laterales.

Halogenación. El cloro y el bromo se fijan por sustitución en las cadenas laterales, particularmente en el átomo de carbono vecino del núcleo; estas reacciones se efectúan en ausencia de catalizadores. Así, el tolueno, en ebullición, reacciona con el cloro y da cloruro de bencilo :

$$C_6H_5-CH_2-\boxed{H+Cl}-Cl \longrightarrow C_6H_5-CH_2-Cl+HCl$$

Pirogenación de los hidrocarburos bencénicos. — Las reacciones de pirogenación conducen a la obtención de hidrocarburos bencénicos más condensados. El benceno se forma por efecto del calor sobre el acetileno :

$$3HC\equiv CH \rightarrow C_6H_6$$

En las condensaciones, se pone generalmente en libertad el hidrógeno, como ocurre en la condensación de dos moléculas de benceno en *difenilo :*

$$C_6H_5-\boxed{H+H}-C_6H_5 \longrightarrow C_6H_5-C_6H_5+H_2$$

Propiedades físicas. — Los hidrocarburos bencénicos, líquidos en general y sólidos en los homólogos superiores, son incoloros, de olor levemente aromático, poco densos, insolubles en el agua y buenos disolventes (grasas, azufre, yodo, fósforo, etc.).

Preparación. — Los hidrocarburos bencénicos se obtienen por *extracción del alquitrán de hulla* y por *síntesis.*

El benceno o sus homólogos se encuentran en el alquitrán de hulla y la destilación de éste da lugar a la separación en fracciones que, según las temperaturas entre las cuales hierven, se llaman *aceites ligeros, aceites medios, aceites pesados* y *aceites de antraceno.* Los hidrocarburos bencénicos se extraen de los aceites ligeros que destilan por debajo de 150 °C.

La síntesis se efectúa por el *método,* ya indicado, *de Friedel y Crafts* o por el *de Fittig y Tollens.* Este último, que constituye una extensión del método de Wurtz y

permite obtener los hidrocarburos acíclicos, consiste en hacer reaccionar sodio con una mezcla de bromobenceno y de un bromuro de alcohílo :

$$C_6H_5-Br+Br-C_2H_5 + Na + Na \longrightarrow C_6H_5-C_2H_5+2NaBr$$

etilbenceno

Asimismo, al igual que los derivados bromados de tipo bencénico pueden formar compuestos orgánicos de magnesio, tales como el $C_6H_5—Mg—Br$, se puede hacer reaccionar estos cuerpos con los halogenuros de alcohílo :

$$C_6H_5-Mg-Br+Br-C_2H_5 \longrightarrow C_6H_5-C_2H_5+MgBr_2$$

Términos particulares. — El *benceno*, llamado también *benzol*, es un líquido incoloro, de olor particular, hierve a 80, 4 °C y, cuando es puro, puede solidificarse y fundirse a 5,4 °C. Se extrae, del mismo modo que sus homólogos, de los aceites ligeros del alquitrán de hulla. Se utiliza como disolvente y para la preparación de numerosos compuestos aromáticos.

El *tolueno* o *metilbenceno* ($C_6H_5—CH_3$), derivado importante de la serie, hierve a 110 °C y permanece en estado líquido a temperaturas bajas, por lo que sirve para la fabricación de termómetros.

Los tres *xilenos* $C_6H_4\begin{smallmatrix}CH_3\\CH_3\end{smallmatrix}$ se encuentran en el alquitrán de hulla. El más abundante es el derivado *meta*. La separación de estos isómeros en estado puro se logra solamente por métodos químicos.

Entre los hidrocarburos bencénicos, se citarán además el *mesitileno* o *s-trimetilbenceno*, de fórmula $C_6H_3(CH_3)_3$ 1—3—5 y formado en la condensación de la acetona, el *cumol* o *isopropilbenceno*, de fórmula $(CH_3)_2CH—C_6H_5$, y el *cimol* o *parametilisopropilbenceno*, de fórmula $CH_3—C_6H_4—CH(CH_3)_2$ 1—4, cuya estructura está estrechamente ligada a la de los compuestos terpénicos.

45. — Funciones del núcleo bencénico

Caracteres generales. Fenoles. *Propiedades. Preparación. Términos particulares. Polifenoles.* Derivados sulfonados. *Propiedades. Utilización de la sulfonación.* Derivados nitrados. *Propiedades. Algunos términos particulares.* Arilaminas. *Basicidad. Propiedades. Términos particulares. Arilaminas primarias. Arilaminas secundarias y terciarias. Aminofenoles.* Diazoicos. *Sales de diazonio. Reacciones.* Quinonas.

Caracteres generales. — Mientras que los halogenuros de alcohílo desempeñan en la serie acíclica un papel primordial en las síntesis, los derivados halogenados de los compuestos de arilo tienen un interés muy limitado. En efecto, el halógeno está en este caso muy ligado al núcleo y estos cuerpos son, por tanto, poco reactivos.

En cambio las *arilaminas*, de las que la *anilina* ($C_6H_5—NH_2$) es el prototipo, tienen gran importancia. Éstas se preparan con gran facilidad por reacción de los hidrocarburos correspondientes con derivados nitrados.

Los *fenoles*, de fórmula general Ar—OH, pueden obtenerse a partir de las arilaminas, pero se derivan igualmente de los derivados sulfonados. Los principales términos se extraen del alquitrán de hulla.

Los fenoles y las arilaminas son las materias primas para la obtención de los colorantes artificiales.

Las *quinonas* ofrecen, por su constitución, un interés teórico.

Fenoles. — La fórmula general de los monofenoles es Ar—OH. El primer término es el fenol ordinario ($C_6H_5—OH$). Ciertos fenoles existen en la Naturaleza, ya en estado libre *(timol, carvacrol)*, ya en estado de éteres *(anetol)*.

Propiedades. — Los fenoles, compuestos líquidos o sólidos con puntos de fusión bajos, poseen aromas acentuados, son poco solubles o insolubles en el agua y gozan de propiedades antisépticas.

PROPIEDADES DEL HIDROXILO FENÓLICO. — *Acidez.* Los radicales arilos aumentan la acidez de la función fenol. Los fenoles, más ácidos que los alcoholes, dan lugar a la formación de derivados metálicos, llamados *fenatos*, al reaccionar con los álcalis en solución :

$$C_6H_5-O-H+HO-Na \longrightarrow C_6H_5-O-Na+H_2O$$

La adición de un ácido mineral diluido regenera fácilmente el fenol :

$$C_6H_5-O-Na+Cl-H \longrightarrow C_6H_5-O-H+NaCl$$

La solubilidad de los fenoles en la sosa cáustica permite extraer globalmente estos compuestos de las mezclas que los contienen.

Formación de ésteres y éteres. - Los fenoles pueden conducir a la obtención de *ésteres* y *éteres*. Los primeros se forman por acción de los cloruros de ácidos con los fenatos alcalinos :

$$C_6H_5—O—Na + Cl—CO—CH_3 \rightarrow C_6H_5—O—CO—CH_3 + NaCl$$

acetato de fenilo

Los segundos se obtienen por reacción de los fenatos con los halogenuros de alcohílo :

$$C_6H_5-O-Na+I-CH_3 \longrightarrow C_6H_5-O-CH_3+NaI$$

Estas reacciones pueden ser utilizadas con objeto de bloquear la función fenol para ulteriores reacciones del núcleo bencénico.

Desoxidación. Si se destilan los fenoles con cinc en polvo, se obtienen hidrocarburos bencénicos :

$$C_6H_5—O—H + Zn \rightarrow C_6H_5—H + ZnO$$

PROPIEDADES DEL NÚCLEO. — Los fenoles dan fácilmente derivados de sustitución del núcleo. De manera especial, las nitraciones, sulfonaciones y halogenaciones se efectúan con mayor facilidad que con los hidrocarburos.

Reacciones de condensación. Los fenoles se condensan con numerosos cuerpos. Citaremos especialmente :

— los alcoholes, que conducen a la formación de los fenoles homólogos en presencia de deshidratantes :

$$OH-C_6H_4-H+H-O-C_2H_5 \longrightarrow OH-C_6H_4-C_2H_5+H_2O$$

— el *cloroformo* y el *ácido fórmico*, que conducen a los aldehídos fenoles;
— el *tetracloruro de carbono* y el *anhídrido carbónico*, que dan lugar a los ácidos fenoles;
— el *anhídrido ftálico* (formación de ftaleínas);
— la *copulación* de los fenoles con los diazoicos;
— y el *formol*, que forma con los fenoles productos de condensación complejos.

Reacciones de adición. Los fenoles se transforman en alcoholes secundarios de la serie del ciclohexano, por hidrogenación catalítica.

Reacciones coloreadas. Las soluciones acuosas de los fenoles dan coloraciones intensas en presencia de cloruro férrico ($FeCl_3$).

Preparación. — Los fenoles se obtienen por dos procedimientos. En el primero, consistente en la *fusión alcalina de los derivados sulfonados*, la reacción es la siguiente :

$$Ar—SO_3Na + 2\,NaOH \rightarrow Ar—ONa + SO_3Na_2 + H_2O$$

Durante esta reacción, se suele separar una parte del sulfito sódico que se aglomera en la superficie del fenato fundido.

El producto bruto se trata con agua, una vez que se ha enfriado, lo que provoca la disolución del fenato, así como la del sulfito restante. El tratamiento ulterior con un ácido deja en libertad el fenol, que, poco soluble, se separa fácilmente.

En el segundo, o sea, en la *hidrólisis de las sales de diazoicos*, la reacción es :

$$ArN_2Cl + H—OH \rightarrow Ar—OH + N_2 + ClH$$

Términos particulares. — El *fenol* ($C_6H_5—OH$), extraído de los alquitranes, se separa de sus homólogos por destilación. En estado puro es un sólido incoloro, cáustico, vejigatorio, poco soluble en el agua, que tiene olor fuerte, funde a 41 °C y hierve a 183 °C. Se utiliza para fabricar el ácido pícrico y para teñir la seda.

Los *cresoles*, de fórmula $C_6H_4 \begin{smallmatrix} CH_3 \\ OH \end{smallmatrix}$, existen en las tres variedades isómeras, *orto, meta* y *para*, en el alquitrán de hulla.

El *timol* y el *carvacrol* son los fenoles derivados del *cimol*.

El *anetol* es el éter metílico de un fenol etilénico : $CH_3—CH{=}CH—C_6H_4—OCH_3$. Este compuesto, constituyente fundamental de la esencia de anís, a la que confiere su aroma, es sólido y funde a 22 °C.

Polifenoles. — Los polifenoles son cuerpos sólidos, incoloros y solubles en el agua.

Difenoles. Se conocen los tres difenoles

$$C_6H_4 \begin{smallmatrix} OH \\ OH \end{smallmatrix}$$

que corresponden al benceno. El isómero *orto* es el *pirocatecol*, cuyo éter monometílico $C_6H_4 \begin{smallmatrix} OCH_3 \\ OH \end{smallmatrix}$ se llama *gayacol*.

El difenol *meta* es el *resorcinol*, utilizado para la preparación de la fluoresceína. El isómero *para* es la *hidroquinona*, obtenida por reducción de la quinona y que sirve como revelador fotográfico.

Trifenoles. De los tres trifenoles se citarán solamente el *pirogalol*, denominado impropiamente ácido pirogálico y de fórmula $C_6H_3(OH)_3 1—2—3$, que se forma por descomposición del ácido gálico.

Derivados sulfonados. — Los derivados sulfonados o *ácidos sulfónicos*, de fórmula general $Ar—SO_3H$, se obtienen por reacción del ácido sulfúrico con los hidrocarburos bencénicos :

$$C_6H_5—H + HO—SO_3H \rightarrow C_6H_5—SO_3H + H_2O$$

La sulfonación de los fenoles y de las arilaminas se logra con mayor facilidad que la de los hidrocarburos. Se consigue generalmente aislar los ácidos sulfónicos en estado de sales sódicas.

Propiedades. — FÍSICAS. — Los ácidos sulfónicos son muy solubles en el agua y no pueden destilarse. Las sales alcalinas son solubles y cristalizables.

QUÍMICAS. — El vapor de agua a presión regenera, por hidrólisis, los hidrocarburos correspondientes. Esta reacción es inversa a la de preparación.

La reacción fundamental de los sulfonatos alcalinos es la que resulta de su escisión por acción de la sosa fundida. Se obtiene así un fenol sodado y sulfito sódico :

$$Ar—SO_3Na + 2\,NaOH \rightarrow ArONa + SO_3Na_2 + H_2O$$

Utilización de la sulfonación. — Se utiliza la sulfonación para crear funciones fenoles en un núcleo, volver solubles en el agua ciertos colorantes insolubles y separar los hidrocarburos.

Derivados nitrados. — Los derivados nitrados, de fórmula general $Ar—NO_2$, se preparan por reacción del ácido nítrico con los hidrocarburos bencénicos :

$$C_6H_5—H + HO—NO_2 \rightarrow C_6H_5—NO_2 + H_2O$$

Las aminas y los fenoles se nitran simultáneamente en las posiciones *orto* y *para*.

Propiedades. — FÍSICAS. — Los derivados nitrados de los hidrocarburos aromáticos se presentan en forma de líquidos densos o sólidos, generalmente de color amarillento, poseen aromas bastante agradables y son insolubles en el agua.

QUÍMICAS. — Los derivados nitrados, de manera especial los polinitrados, pueden hacer explosión por efecto del calor o de choques. Las reacciones principales de la función son las que resultan de su reducción.

Los reductores enérgicos (limaduras de hierro en presencia de ácidos diluidos) transforman los derivados nitrados en arilaminas. Esta reacción constituye la preparación tradicional de estas bases :

$$C_6H_5—NO_2 + 2Fe + H_2O \longrightarrow C_6H_5—NH_2 + Fe_2O_3$$

Los reductores más suaves, en especial el polvo de cinc en presencia de sosa y en solución alcohólica, pueden dar lugar a la obtención de compuestos sucesivos formados a expensas de dos moléculas del derivado nitrado, como los derivados *azóxicos* $C_6H_5—N—N—C_6H_5$ (azoxibenzol), con un O unido a ambos N, *azoicos* $C_6H_5—N{=}N—C_6H_5$ (azobenzol) e *hidrazoicos* $C_6H_5—NH—NH—C_6H_5$ (hidrazobenzol).

Se pueden obtener, en ciertas condiciones, las *hidroxilaminas*, como sería por ejemplo la fenilhidroxilamina : $C_6H_5—NH—OH$.

Todos los compuestos que se acaban de citar pueden ser reducidos a arilaminas valiéndose de la acción de reductores enérgicos.

Algunos términos particulares. — El *nitrobenzol* ($C_6H_5—NO_2$) funde a 3 °C, hierve a 205 °C y se utiliza en perfumería, por su olor a almendras amargas.

El *trinitrotoluol*, $CH_3—C_6H_2(NO_2)_3 2—4—6$, es un explosivo, así como el *ácido pícrico* o *trinitrofenol* [$OH—C_6H_2(NO_2)_3 2—4—6$], empleado corrientemente con el nombre de *melinita*.

Arilaminas. — Las arilaminas son aminas aromáticas nucleares, llamadas también *aminas fenólicas*. Se dividen en *aminas primarias*, de fórmula general $Ar—NH_2$, y en *aminas secundarias* y *terciarias*. Entre estas últimas, las más importantes son aquellas, denominadas *bases mixtas*, cuyo átomo de nitrógeno contiene radicales alcohílo :

$$C_6H_5—NH—C_2H_5,\ C_6H_5—N(CH_3)_2$$

Basicidad. — La presencia del radical arilo atenúa considerablemente el carácter básico de la función amina. Las arilaminas son bases mucho más débiles que las aminas alifáticas. Las sales (clorhidratos, sulfatos) se presentan en estado sólido y cristalizado. Se hidrolizan fuertemente en solución acuosa.

Las arilaminas primarias fijan los halogenuros de alcohílo y se transforman en bases secundarias y terciarias mixtas, pero no reaccionan con los derivados halogenados de arilo.

Propiedades. — FÍSICAS. — Las arilaminas, compuestos tóxicos, líquidos o sólidos, tienen olor fuerte y desagradable, son incoloras, cuando están recién preparadas, muy estables, poco solubles o insolubles en el agua y destilan sin descomponerse.

QUÍMICAS. — Las arilaminas poseen las propiedades generales de la función amina.

La obtención de amidas se logra fácilmente calentando las arilaminas con ácido acético :

$$C_6H_5-NH-\boxed{H+HO}-CO-CH_3 \longrightarrow C_6H_5-NH-CO-CH_3+H_2O$$

acetanilida

Se puede bromar o nitrar la acetanilida, sin peligro alguno, y regenerar la anilida bromada o nitrada por simple hidrólisis.

Las arilaminas secundarias mixtas pueden originar también amidas, pero no las terciarias.

La reacción de las aminas secundarias con el ácido nitroso es de gran importancia. Cuando se tratan con ácido nitroso en una reacción denominada *diazotación*, las arilaminas conducen a la formación de un compuesto intermedio, llamado *diazoico*, que puede ser aislado :

$$Ar-N\boxed{H_2+O}=N-OH \longrightarrow Ar-N=N-OH+H_2O$$

La presencia del radical NH_2 facilita las sustituciones en el núcleo. Así se pueden obtener fácilmente las bases halogenadas en *orto* y *para* y las nitradas y sulfonadas, principalmente en *para*.

Entre las reacciones de condensación, se citarán la copulación con los diazoicos y todas las numerosas reacciones que dan lugar a los colorantes.

Términos particulares. — La *anilina* ($C_6H_5—NH_2$) es un líquido, poco soluble en agua, que hierve a 185 °C y tiñe de violeta las soluciones de los hipocloritos.

La *acetanilida* sirve como febrífugo (antifebrina).

Las *toluidinas*, de fórmula $C_6H_4\begin{matrix}\diagup CH_3\\ \diagdown NH_2\end{matrix}$, son los homólogos de la anilina.

La *xilidina* comercial, de fórmula $C_6H_3\begin{matrix}\diagup NH_2\\ \diagdown (CH_3)_2\end{matrix}$, es una mezcla de isómeros.

Arilaminas primarias. — PREPARACIÓN. — La preparación de las arilaminas primarias se efectúa exclusivamente por reducción de los derivados nitrados en medio ácido. Se emplea industrialmente el hierro en presencia de ácido clorhídrico.

Arilaminas secundarias y terciarias. — La anilina, al calentarse en autoclave con alcoholes y en presencia de ácido clorhídrico, da fácilmente aminas secundarias y terciarias mixtas, tales como la *monometilanilina* ($C_6H_5—NHCH_3$) y la *dimetilanilina* [$C_6H_5—N(CH_3)_2$], utilizadas en la industria de los colorantes.

La *difenilamina* [$(C_6H_5)_2NH$] es una base secundaria que sirve como estabilizador de los explosivos. Se obtiene por reacción de la anilina con el clorhidrato de ésta.

Aminofenoles. — Entre los aminofenoles, el *para-aminofenol* ($OH—C_6H_4—NH_2$ 1—4), de carácter reductor, se forma en la reducción del nitrobenzol por transposición de la fenilhidroxilamina ($C_6H_5—NH—OH$). Se utiliza para la preparación de reveladores fotográficos y de ciertos medicamentos.

Diazoicos. — Los diazoicos son los compuestos formados por la acción del ácido nitroso sobre las arilaminas primarias. Éstos, en la forma ArN_2OH, son inestables. En cambio, sus compuestos forman sales con los ácidos, como el cloruro ArN_2Cl, obtenido por vía directa en la diazotación de las aminas. Se atribuye a estas sales la constitución denominada «diazonio». La fórmula desarrollada del cloruro, $Ar—N^+\equiv NCl^-$, se denomina cloruro de arildiazonio y $C_6H_5—N^+\equiv NCl^-$ es el cloruro de fenildiazonio.

Si se añade un álcali en exceso a la solución de la sal de diazonio, se obtiene un diazotato alcalino, igualmente soluble. Se atribuye a las sales de sodio la fórmula general $Ar—N{=}N—O—Na$.

Sales de diazonio. — PREPARACIÓN. — Las sales de diazonio se preparan en solución acuosa añadiendo, poco a poco, nitrito sódico (NO_2Na) a la solución de una sal de amina primaria que contiene un exceso de ácido mineral. Se opera generalmente a una temperatura inferior a 5 °C.

El ácido nitroso que se forma reacciona inmediatamente con la sal de la base :

$$C_6H_5-\overset{+}{N}\boxed{H_2+O}=N-\boxed{OH} \longrightarrow C_6H_5-\overset{+}{N}\equiv N\overset{-}{Cl}+2H_2O$$
$$\boxed{H}Cl^-$$

Las sales de los diazoicos no se aíslan en estado seco al ser inestables en este caso y descomponerse con explosión.

Reacciones. — CON ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO. — La sal de diazonio o cloruro de arildiazonio, cuya fórmula es $Ar—N^+\equiv NCl^-$, conduce, con desprendimiento de nitrógeno, a las funciones siguientes :

Al fenol Ar—OH. Esta reacción, hidrólisis normal del diazoico, se efectúa por elevación de la temperatura :

$$Ar-\boxed{N_2Cl+H}-OH \longrightarrow Ar-OH+N_2+HCl$$

Al derivado halogenado Ar—X. La sal correspondiente del diazoico $Ar—N_2—X$ se descompone por acción del polvo de cobre, que actúa como catalizador :

$$Ar—N_2—X \rightarrow Ar—X + N_2$$

Al hidrocarburo Ar—H. Se reduce el diazoico con alcohol que se deshidrogena en aldehído :

$$Ar—N_2—Cl + H_2 \longrightarrow Ar—H + N_2 + ClH$$

Al nitrilo $Ar—C \equiv N$. Se forma el cianuro del diazoico que se descompone, si se trata la solución con cianuro cuproso :

$$Ar—N_2—C \equiv N \longrightarrow Ar—C \equiv N + N_2$$

Este método, puesto que el nitrilo puede saponificarse ulteriormente, permite obtener los ácidos Ar—COOH a partir de las bases $Ar—NH_2$.

SIN ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO. — Las reacciones sin eliminación de nitrógeno son las siguientes :

Las arilaminas, en medio ácido, y los fenoles, en medio alcalino, se condensan con los diazoicos y dan lugar a derivados azoicos. Esta reacción, denominada *copulación,* se efectúa en posición *para* con respecto a la función amina o fenol que reacciona. Si la posición *para* está ocupada, la copulación se realiza en la posición *orto,* pero nunca en la posición *meta.*

La anilina, en medio ácido, forma un aminoazoico :

$$Ar—\overset{+}{N} \equiv NCl^- + H—C_6H_4—NH_2 \longrightarrow Ar—N{=}N—C_6H_4—NH_2 + ClH$$

En medio alcalino, el diazotato reacciona con un fenol :

$$Ar—N{=}N—ONa + H—C_6H_4—OH \longrightarrow Ar—N{=}N—C_6H_4—OH + NaOH$$

y se obtiene un hidroxiazoico. Todos estos compuestos posen propiedades tintóreas.

El cloruro de fenildiazonio puede ser reducido sin eliminación de nitrógeno. Se obtiene así la *fenilhidrazina* :

$$C_6H_5—N^+{\equiv}NCl^- + 2H_2 \longrightarrow C_6H_5—NH—NH_2 + ClH$$

que reacciona con los aldehídos y las cetonas, da compuestos cristalinos y sirve para preparar la *antipiridina.*

Quinonas. — Las quinonas se forman en numerosas reacciones de oxidación. Se dividen en dos clases : las *paraquinonas,* que son las más importantes, y las *ortoquinonas.*

Las quinonas, cuyo núcleo contiene solamente dos enlaces dobles, son oxidantes y tienden a reducirse a los difenoles correspondientes (hidroquinona y pirocatecol), de manera que el núcleo adquiere la estructura bencénica. Las materias colorantes presentan en su molécula un núcleo de estructura quinónica.

parabenzoquinona — ortobenzoquinona

La *parabenzoquinona* se forma en la oxidación del ácido quínico, derivado de la quinina, y se obtiene oxidando la anilina con la mezcla crómica. Es un sólido amarillo, muy volátil, que huele a cloro.

46. — Funciones de las cadenas laterales

Derivados halogenados. Alcoholes. Aldehídos. *Aldehído benzoico. Otros aldehídos.* Aldehídos fenoles. Cetonas. Ácidos. *Ácido benzoico. Otros ácidos.* Ácidos fenoles. Diácidos. *Ácido ftálico.*

En los compuestos bencénicos, las funciones ligadas en las cadenas laterales poseen las propiedades habituales. Hay que hacer constar, sin embargo, que el núcleo ejerce cierta influencia sobre el primer átomo de carbono de una cadena y que, por tanto, las funciones aldehído, cetona y ácido, ligadas directamente al núcleo, manifiestan ciertas particularidades en las propiedades que tienen.

Derivados halogenados. — Los *derivados bencílicos* son los más importantes. La cloruración del tolueno en ebullición y con ausencia de catalizadores se efectúa en la cadena. Se obtiene así el *cloruro de bencilo* ($C_6H_5—CH_2Cl$), líquido cuyos vapores irritan los ojos, aunque menos que el *bromuro de bencilo* ($C_6H_5—CH_2Br$), que puede ser utilizado como lacrimógeno. La cloruración más completa del tolueno conduce al *cloruro de bencilideno* ($C_6H_5—CHCl_2$) y al *fenilcloroformo* ($C_6H_5—CCl_3$).

No debe confundirse nunca el radical bencilo ($C_6H_5—CH_2—$), cuya valencia disponible se encuentra en la cadena lateral, con el *fenilo* o los *toluilos,* cuya valencia libre se halla en el núcleo.

Alcoholes. — El *alcohol bencílico* ($C_6H_5—CH_2OH$), líquido de olor suave obtenido por hidrólisis en autoclave del cloruro de bencilo en presencia de óxido de plomo, hierve a 206 °C y se utiliza en perfumería. El *acetato de bencilo* posee olor a jazmín y constituye el compuesto principal de la esencia de esta flor. El *alcohol feniletílico* ($C_6H_5—CH_2—CH_2OH$) huele a rosa y se obtiene por reducción del fenilacetato de etilo con sodio y alcohol.

Aldehídos. — *Aldehído benzoico.* — El aldehído benzoico o benzaldehído ($C_6H_5—CHO$), primer término de la serie cuya función aldehído está ligada directamente al núcleo, es un líquido que hierve a 180 °C, forma el principal constituyente de la esencia de almendras amargas, a la que confiere su aroma, y se utiliza en perfumería.

Se prepara industrialmente por oxidación catalítica del toluol :

$$C_6H_5—CH_3 + O_2 \rightarrow C_6H_5—CHO + H_2O$$

PROPIEDADES QUÍMICAS. — Además de las propiedades habituales (poder reductor, formación de combinación

bisulfítica, etc.), la función aldehído, ligada al núcleo bencénico, puede dar lugar a las reacciones que se señalan a continuación.

Oxidación-reducción. Los álcalis reaccionan con dos moléculas de aldehído benzoico. Una de ellas se oxida en *ácido benzoico* y la otra se reduce a *alcohol bencílico :*

$$C_6H_5-CHO \mid OCH-C_6H_5 \longrightarrow C_6H_5-CH_2OH+C_6H_5-CO_2H$$
$$+H_2 \quad \mid = O$$

Condensaciones bimoleculares. Una molécula de agua se elimina entre dos moléculas reaccionantes. La reacción de condensación con los ácidos, y aún mejor con las sales sódicas, conduce a los *ácidos etilénicos.* Este método sirve para la preparación del *ácido cinámico :*

$$C_6H_5-CH\boxed{O+H_2}CH-CO_2Na \longrightarrow C_6H_5-CH=CH-CO_2Na+H_2O$$

Condensaciones trimoleculares. El aldehído benzoico se condensa con los fenoles y las arilaminas terciarias. Una molécula de agua se elimina entre el oxígeno aldehídico y quedan retenidos, en dos núcleos de fenol o de base, dos átomos de hidrógeno en la posición *para.* El fenol da la reacción :

$$C_6H_5-CH\boxed{O \;\; \begin{matrix}+H\\+H\end{matrix}}\begin{matrix}-C_6H_4-OH\\-C_6H_4-OH\end{matrix} \longrightarrow C_6H_5-CH\begin{matrix}C_6H_4-OH\\C_6H_4-OH\end{matrix} +H_2O$$

La fenilamina se condensa de la misma manera :

$$C_6H_5-CH\boxed{O \;\; \begin{matrix}+H\\+H\end{matrix}}\begin{matrix}-C_6H_4-N(CH_3)_2\\-C_6H_4-N(CH_3)_2\end{matrix} \longrightarrow$$

$$C_6H_5-CH\begin{matrix}C_6H_4-N(CH_3)_2\\C_6H_4-N(CH_3)_2\end{matrix} +H_2O$$

Estos productos de condensación son otros tantos derivados del hidrocarburo llamado *trifenilmetano* [$(C_6H_5)_3C$—H] y dan lugar, por oxidación, a la formación de colorantes.

La anilina se condensa con el benzaldehído y la reacción se realiza mediante la función amina y no por el hidrógeno del núcleo. El derivado así obtenido se conoce con el nombre de *base de Schiff :*

$$C_6H_5-CH\boxed{O+H_2}N-C_6H_5 \longrightarrow C_6H_5-CH=N-C_6H_5+H_2O$$

Otros aldehídos. — El *paraisopropilbenzaldehído* [$(CH_3)_2$—CH—C_6H_4—CHO] comunica su aroma a los granos de comino. El *aldehído fenilacético* [C_6H_5—CH_2—CHO], obtenido sintéticamente a partir del benzaldehído, es la base del jacinto artificial. El *aldehído cinámico* [C_6H_5—CH=CH—CHO], de carácter no saturado, es un constituyente de la esencia de canela.

Aldehídos fenoles. — Algunos aldehídos fenoles, de gran interés en perfumería, forman parte de ciertas esencias naturales. Sin embargo, resulta generalmente más ventajoso prepararlos artificialmente. Entre los métodos empleados para obtenerlos se encuentran :

La *condensación del cloroformo con los fenoles,* que, en presencia de sosa caústica, transforma el fenol en aldehído salicílico u ortohidroxibenzoico.

H+Cl−CHCl₂ / OH ⟶ CHCl₂ / OH ⟶ CHO / OH

Se puede lograr también una formación transitoria del derivado diclorado aldehídico, como producto intermedio, que se hidroliza fácilmente por reacción con el álcali, obteniéndose, al mismo tiempo, cierta cantidad del isómero *para.*

La *oxidación de los compuestos fenólicos con cadena lateral etilénica* hace que el anetol de la esencia de anís conduzca al aldehído anísico :

$CH=CH-CH_3$ / $O-CH_3$ ⟶ CHO / $O-CH_3$

anetol — aldehído anísico

El *eugenol,* extraído de la esencia de clavo, se isomeriza en *isoeugenol,* que, por oxidación, se transforma en *vainillina,* principio aromático de la vainilla.

$CH_2-CH=CH_2$ / $O-CH_3$ / OH ⟶ $CH=CH-CH_3$ / $O-CH_3$ / OH ⟶ CHO / $O-CH_3$ / OH

Cetonas. — La *acetofenona* (C_6H_5—CO—CH_3), que funde a 20 °C y hierve a 202 °C, se obtiene fácilmente condensando el cloruro de acetilo con benceno y en presencia de cloruro de aluminio anhidro. Tiene propiedades hipnóticas, lo que le ha valido ser denominada *hipnona,* y se emplea también en perfumería.

Ácidos. — *Ácido benzoico.* — El ácido benzoico (C_6H_5—COOH), existente en estado libre en la esencia de *benjuí* y que se prepara oxidando el toluol, es un sólido blanco, poco soluble en el agua fría y más soluble, como todos los ácidos aromáticos, en el agua hirviendo, que funde a 121 °C. Sus homólogos pueden obtenerse por diversos métodos sintéticos, en especial a partir de las arilaminas, que se transforman primero en sales de diazoico y, finalmente, en nitrilos.

El ácido benzoico, cuya función está ligada al núcleo, posee, igual que sus homólogos, la propiedad de perder

fácilmente una molécula de anhídrido carbónico, con lo que se transforma en hidrocarburo :

$$C_6H_5—COO—H \rightarrow C_6H_5—H + CO_2$$

La condensación de este ácido conduce a la formación de *antraquinona.*

Otros ácidos. — El llamado *ácido fenilacético* ($C_6H_5—CH_2—COOH$) se obtiene fácilmente a partir de su nitrilo [$C_6H_5—CH_2—C\equiv N$], que se prepara por el procedimiento clásico consistente en hacer reaccionar el cianuro potásico con el cloruro de bencilo :

$$C_6H_5-CH_2-\boxed{Cl+K}-C\equiv N \longrightarrow C_6H_5-CH_2-C\equiv N+ClK$$

Su éster etílico sirve para preparar el alcohol feniletílico por hidrogenación.

El *ácico cinámico* ($C_6H_5—CH=CH—COOH$), ácido etilénico obtenido a partir del aldehído benzoico, existe en diferentes esencias y en los bálsamos de Tolú (Colombia) y del Perú.

Ácidos fenoles. — Los ácidos fenoles pueden obtenerse por condensación del anhídrido carbónico (CO_2) con los fenoles sodados. El fenol ordinario conduce, en estas condiciones, al *ácido salicílico* u ortohidroxibenzoico :

$$C_6H_5-O-Na+CO_2 \longrightarrow C_6H_4(OH)(CO_2H)$$

Este ácido funde a 115 °C, es antiséptico, constituye un remedio específico contra el reúma y se utiliza abundantemente en farmacia en forma de sales o de ésteres. La *aspirina* es el derivado acetilado. El *ácido gálico,* que posee las tres funciones fenol, se obtiene por hidrólisis de ciertos taninos y se emplea para la fabricación de tintas y de ciertos colorantes *(antragalol).* El calor lo descompone en *pirogalol.*

Diácidos. — *Ácido ftálico.* — El ácido ftálico, diácido derivado del benceno en posición *orto,* se prepara por oxidación del naftaleno, uno de cuyos núcleos se rompe, y da fácilmente un anhídrido :

$$C_{10}H_8 \longrightarrow C_6H_4(CO_2H)_2 \longrightarrow C_6H_4(CO)_2O$$

naftaleno — ácido ftálico — anhídrido ftálico

47. — Núcleos complejos

Grupo del naftaleno. *Naftaleno. Naftoles y naftilaminas.* Grupo del antraceno. *Antraceno. Antraquinona.*

La mayor parte de los hidrocarburos con núcleos complejos existen en el alquitrán de hulla. Presentan, así como sus derivados, grandes analogías con los hidrocarburos y los derivados bencénicos correspondientes. Se describirán brevemente a continuación los grupos del *naftaleno* y del *antraceno.*

Grupo del naftaleno. — *Naftaleno.* — El naftaleno o *naftalina* ($C_{10}H_8$) es un sólido blanco, muy sublimable, que funde a 80 °C, tiene olor característico y se separa de los aceites de alquitrán cuando éstos hierven entre 200 y 300 °C, pero dentro de los cuales cristaliza lentamente en frío.

Presenta un núcleo formado por otros dos bencénicos reunidos :

(α) H (posición 8), H (α) (posición 1); (β) H—C 7, 2 C—H (β); (β) H—C 6, 3 C—H (β); (α) H (posición 5), H (α) (posición 4)

El núcleo posee las propiedades generales del núcleo bencénico, pero es más sensible a la oxidación. Los oxidantes transforman el naftaleno en ácido ortoftálico :

$$C_6H_4 \begin{matrix} \diagup COOH \\ \diagdown COOH \end{matrix}$$

La *hidrogenación catalítica* provoca la fijación, por adición, de cuatro o de diez átomos de hidrógeno. Se obtienen así hidrocarburos líquidos: *tetralina* ($C_{10}H_{12}$) y *decalina* ($C_{10}H_{18}$), utilizados como carburantes añadidos a la gasolina corriente.

El naftaleno da fácilmente productos de sustitución. Existen, para cada derivado monosustituido, dos posiciones isómeras designadas por las letras α y β. Si se numeran de 1 a 8 los átomos de carbono a los que va ligado un átomo de hidrógeno, la letra α designa las posiciones equivalentes 1, 4, 5 u 8, mientras que la posición β corresponde a una sustitución en los carbonos 2, 3, 6 ó 7.

Naftoles y naftilaminas. — Los fenoles y las aminas naftalénicos se denominan naftoles y naftilaminas. Estos cuerpos se obtienen del modo siguiente :

El naftaleno se nitra exclusivamente en posición α. El α-nitronaftaleno conduce, por medio de la reducción,

a la α-naftilamina, que puede ser transformada en α-naftol por calentamiento a 200 ºC en autoclave y con ácido sulfúrico diluido :

naftaleno → α-nitronaftaleno →

α-naftilamina → α-naftol

El naftaleno se sulfona en β hacia 150 ºC y el derivado sulfonado así obtenido se transforma en el β-naftol por fusión alcalina. Este compuesto da lugar a la β-naftilamina por calentamiento en autoclave con amoníaco y en presencia de sulfito amónico, como se indica a continuación.

naftaleno → β-naftaleno sulfonato sódico →

β-naftol → β-naftilamina

Se observará que la transformación de los fenoles en aminas se logra mucho más fácilmente que en la serie bencénica.

Los naftoles y las naftilaminas se presentan en estado sólido a la temperatura ambiente y pueden ser sulfonados. Los ácidos sulfónicos correspondientes sirven, al igual que otros varios derivados, para la fabricación de numerosos colorantes.

El β-naftol se emplea en forma de derivados (benzonaftol) como antiséptico interno. Sus éteres metílico ($C_{10}H_7—O—CH_3$) y etílico ($C_{10}H_7—O—C_2H_5$) se emplean en perfumería.

Grupo del antraceno. — *Antraceno.* — El antraceno ($C_{14}H_{10}$), que se separa por cristalización de los aceites verdes antracénicos, es decir, de la fracción de los alquitranes de hulla, es un sólido blanco que funde a 217 ºC y hierve a 351 ºC. Su molécula está formada por tres núcleos bencénicos reunidos. Se determina la posición de las sustituciones numerando los diez átomos de carbono unidos a los átomos de hidrógeno como se puede observar perfectamente en la columna siguiente.

o

antraceno

Antraquinona. — La antraquinona ($C_{10}H_8O_2$), obtenida oxidando el antraceno con la mezcla crómica, es un sólido amarillo que funde a 285 ºC y hierve a 382 ºC. Se puede preparar también por síntesis, condensando dos moléculas de ácido benzoico, con eliminación de dos moléculas de agua :

→ $+2H_2O$

antraquinona

Los ocho átomos de carbono ligados a los hidrógenos presentan la misma disposición que en el naftaleno y se numeran de la misma manera. Por consiguiente, se distinguen los derivados monosustituidos α y β de la antraquinona.

Los derivados fenólicos de la antraquinona, que contienen por lo menos dos hidroxilos, ofrecen propiedades tintóreas. Se trata de las *hidroxiantraquinonas*, algunas de las cuales se cuentan entre los colorantes más importantes. Estos cuerpos pueden formarse por oxidación directa, a temperatura adecuada, del núcleo del antraceno. Esta oxidación se facilita cuando existe un hidroxilo en la molécula.

La *alizarina* o dihidroxi-1-2-antraquinona, principio colorante de la granza, se fabrica industrialmente según el siguiente procedimiento : se sulfona en β la antraquinona y se somete el derivado así obtenido a la fusión alcalina. El monofenol que resulta se oxida durante la reacción por acción del oxígeno atmosférico y da el difenol en forma de derivado sodado como se indica en la página siguiente.

antraquinona → antraquinona β-sulfonato sódico → β-hidroxi-antraquinona → alizarina

Las hidroxiantraquinonas pueden también originarse por condensación de los ácidos fenólicos entre sí o con el ácido benzoico :

ác. benzoico + ác. gálico → antragalol $+ 2H_2O$

e igualmente por condensación de los fenoles con anhídrido ftálico :

anhídrido ftálico + hidroquinona → quinizarina (dihidroxi-1-4-antraquinona) $+ H_2O$



48. — Compuestos heterocíclicos

Ciclos pentagonales. Ciclos hexagonales. Ciclos complejos. Ureidos. Alcaloides.

Los heterociclos contienen, además de carbono, átomos de oxígeno, azufre y nitrógeno. Se clasifican en función del número de átomos que forman el anillo, independientemente de su naturaleza. Los ciclos pentagonales y hexagonales son los más corrientes. Se observa, igualmente, la existencia de ciclos complejos.

Ciclos pentagonales. — Los ciclos pentagonales más interesantes son los siguientes :

```
CH−CH          CH−CH
//   \\        //   \\
CH    CH       CH    CH
  \  /           \  /
   O               S
furano          tiofeno

CH−CH          CH−CH
//   \\        //   \\
CH    CH       CH    N
  \  /           \  /
   NH              NH
pirrol          pirazol
```

El ciclo del *furano* se origina en la deshidratación de los azúcares que contienen cinco átomos de carbono *(aldopentosas)*, los cuales conducen a un aldehído derivado *(furfural* o *furfurol)*.

El *tiofeno*, formado fácilmente por condensación del azufre con el acetileno, se encuentra, junto a sus homólogos, en el alquitrán de hulla. El benceno rectificado contiene siempre una proporción apreciable de este compuesto. Se extrae por agitación con ácido sulfúrico, en el que se disuelve después de sulfonarse.

El *pirrol* se halla en el aceite procedente de la destilación de huesos *(aceite de Dippel)* y, en menor proporción, en el alquitrán de hulla. El nitrógeno del núcleo no es básico. La hemoglobina de la sangre, la clorofila y los pigmentos biliares son otros tantos derivados del pirrol.

El anillo pirrólico se forma a partir de materias albuminosas y en el desdoblamiento de ciertos alcaloides.

El ciclo del *pirazol*, que contiene dos átomos de nitrógeno, está presente, en especial, en la *antipirina*, que es una cetona derivada *(dimetilfenilpirazolona)*. El *piramidón*, otro analgésico obtenido por síntesis, es muy semejante a la antipirina, de la que se diferencia por la presencia de una función amina terciaria.

Ciclos hexagonales. — La *piridina*, formada en la condensación del ácido cianhídrico y del acetileno, tiene una constitución parecida a la del benceno y posee además el mismo carácter estable, como puede observarse perfectamente en la columna siguiente.

```
    CH              CH2              NH
  /    \\         /    \          /    \
CH      CH     H2C      CH2    H2C      CH2
||      |       |       |       |       |
CH      CH     H2C      CH2    H2C      CH2
  \    //         \    /          \    /
    N               NH              NH
 piridina       piperidina      piperazina
```

La base que estudiamos es débil, de olor desagradable, y se encuentra en el alquitrán de hulla y en el aceite procedente de la destilación de huesos. El núcleo pirídico interviene en la constitución de varios alcaloides.

La *piperidina* existe, en forma de combinación, en la *piperina*, principio activo de la pimienta, y se llama en este caso *hexahidropiridina*, que puede prepararse por hidrogenación de esta base.

La *piperazina*, que posee dos átomos de nitrógeno en el ciclo, es un producto de síntesis usado en farmacia como disolvente del ácido úrico.

Ciclos complejos. — El *indol*, cuyo núcleo está constituido por la unión de un núcleo bencénico y de otro pirrólico, es, en realidad, un *benzopirrol :*

```
    CH      CH
  //   \   /  \\
CH       C      CH
|        ||     /
CH       C     /
  \\   /   \  /
    CH       N
             H
   indol
```

```
                 O          O
                 ||         ||
      CH         C          C        CH
    //   \     /   \      /   \    /   \\
  CH       C           C=C           C     CH
  |        ||                        ||    |
  CH       C           /  \          C     CH
    \\   /   \        /    \       /   \ //
      CH       N                  N      CH
               H                  H
                     índigo
```

Este compuesto heterocíclico, que se encuentra en el azahar, es de olor repulsivo, cuando está concentrado, y agradable si se diluye mucho. El *escatol*, homólogo superior del anteriormente citado, se halla en las materias fecales.

El derivado más importante del grupo es el *índigo*, colorante natural que se prepara actualmente por síntesis y tiene una constitución muy semejante a la de las ortoquinonas. Insoluble en agua, se solubiliza por reducción de las funciones cetonas (índigo blanco) y se utiliza para teñir impregnando el tejido y exponiendo éste al aire. El índigo azul se solidifica en la fibra.

La *quinoleína*, benzopiridina contenida principalmente en el aceite de huesos, es una base débil que se prepara

por síntesis calentando glicerol, alcohol graso llamado también *glicerina*, con anilina en presencia de un deshidratante (ácido sulfúrico) y de un oxidante (nitrobenzol).

quinoleína

En la *isoquinoleína*, el átomo de nitrógeno del ciclo se encuentra en posición β con respecto al núcleo bencénico.

Los ciclos complejos existen en la fórmula de ciertos colorantes.

Ureidos. — La urea puede dar con los ácidos unos compuestos llamados *ureidos*, que forman frecuentemente heterociclos. Entre los ureidos complejos se mencionarán la *cafeína* del café, la *teobromina* del cacao, la *teofilina* del té, el *ácido úrico*, la *guanina* del guano, etc. Todos poseen el esqueleto de una base llamada *purina*.

purina

cafeína

Alcaloides. — Se da el nombre de *alcaloides* a ciertas sustancias naturales básicas que dan lugar a reacciones fisiológicas muy vivas. En general, se trata de venenos violentos y su constitución, a veces muy compleja, los sitúa entre los compuestos heterocíclicos. Entre ellos se encuentran la *nicotina* del tabaco, la *atropina* de la raíz de belladona, la *cocaína* de las hojas de coca, la *quinina* y la *cinconina* de la quina, la *morfina* y la *codeína* del opio, la *estricnina* y la *brucina*, extraídas de la nuez vómica, etc.

49. — Vitaminas, hormonas y antibióticos

Vitaminas. — Las *vitaminas*, sustancias contenidas en proporciones ínfimas en los alimentos habituales de los animales, deben ingerirse de manera incesante a fin de que se cumplan debidamente las funciones vitales. Su ausencia determina la aparición en el hombre de trastornos diversos *(avitaminosis)*, como el escorbuto, raquitismo, etc. Se clasifican corrientemente según los efectos que producen y, desde el punto de vista de su constitución, forman parte de todas las series, como lo indica el cuadro siguiente, donde figuran las más importantes :

VITAMINAS HIDROSOLUBLES

vitamina B_1 *(aneurina)*
antineurítica

vitamina B_2 *(flavina)*
vitamina del crecimiento

vitamina C *(ácido l-ascórbico)*
antiescorbútica

VITAMINAS LIPOSOLUBLES

vitamina A
vitamina del crecimiento

vitamina D_3 *(natural)*
antirraquítica

vitamina E *(tocoferol)*
antiesterilidad

Hormonas. — Las sustancias segregadas por las glándulas *endocrinas*, que vierten directamente sus productos en la sangre, se llaman *hormonas*. Éstas son activas en dosis generalmente muy pequeñas. La primera aislada ha sido la *adrenalina*, principio activo de las cápsulas suprarrenales, que regula la dilatación y la constricción de los vasos sanguíneos. La *tiroxina*, segregada por la glándula tiroides, regula el desarrollo físico e intelectual de los individuos.

$CHOH-CH_2-NH-CH_3$

OH

OH

adrenalina

I I tiroxina

$OH-$ O $-CH_2-CH-CO_2H$

NH_2

I I

Uno de los grupos más importantes de las hormonas es el constituido por las *hormonas sexuales*, que pertenecen a los esteroides. Se distinguen :

1.° *Las hormonas masculinas*

testosterona H OH O

androsterona O

H HO

2.° *Las hormonas femeninas*

estradiol H OH

HO

O

HO estrona

H $CO-CH_3$

O progesterona

Pertenecen, igualmente, al grupo de los esteroides :

H $CO-CH_2OH$

O desoxicorticosterona

CH_2OH

CO

OH

O

O cortisona

Antibióticos. — Se designan con este nombre ciertas sustancias, la mayor parte de ellas segregadas por microorganismos, capaces de oponerse a la mutiplicación de los microbios. Esta propiedad fue descubierta en las *sulfamidas*, derivadas de la paraaminofenilsulfonilamida o *septoplix* ($NH_2—C_6H_4—SO_2—NH_2$).

Se ha logrado aislar, desde hace ya muchos años, cierto número de antibióticos naturales, entre los que mencionaremos :

CO_2H O penicilinas

N C

CH_3 $CH-NH-CO-R$

CH_3 S

$R=C_6H_5-CH_2-$: penicilina G

NH OH NH

NH_2-C-NH $NH-C-NH_2$

HO O O

OH

CH_2OH

$CH-O$ O

CHOH CH HO CHO

CH-CH estreptomicina

OH $NH-CH_3$

CH_3 OH OH $N(CH_3)_2$

OH terramicina

$CO-NH_2$

OH O OH OH O

Cl CH_3 OH $N(CH_3)_2$

OH aureomicina

$CO-NH_2$

OH O OH OH O

cloranfenicol

NO_2- $-CHOH-CH-CH_2OH$

$NH-CO-CHCl_2$

Ciencias Naturales

Fot. Larousse - Giraudon

Geología

Reseña histórica. Concepto y contenido. Utilidad de la Geología. Investigación geológica. Composición de la Tierra.

Reseña histórica. — El interés por los temas geológicos se remonta a la antigüedad grecolatina. HERODOTO, en el siglo V a. de J. C., describió algunos volcanes y terremotos, mientras que, siglos más tarde, el romano PLINIO el Viejo (23-79) pagó con su vida el afán de estudiar desde lo más cerca posible la famosa erupción del Vesubio.

En el Renacimiento se distinguieron Leonardo de VINCI (1452-1519), que investigó sobre algunos fósiles, y el alemán Georg AGRICOLA (1494-1555), a quien se debe un tratado *(De re metallica)* que compendia los conocimientos de la época en minería y metalurgia.

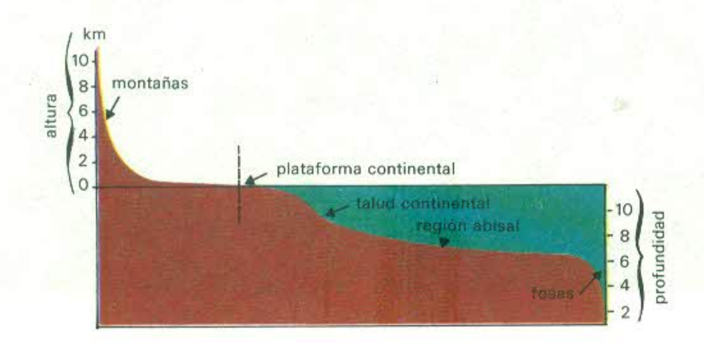
A partir del siglo XVIII los avances en Geología son mucho más importantes. Baste citar al francés Georges-Louis BUFFON (1707-1788), que estableció una cronología de la Tierra en el libro *Las épocas de la Naturaleza*, o al británico James HUTTON (1726-1797), que sostuvo la teoría de que las rocas son productos de la actividad volcánica. A la fundación de la primera Sociedad de Geología en Londres (1807) siguieron la publicación de un mapa geológico de Inglaterra (1815), dirigido por William SMITH (1769-1839), y la obra *Principios de Geología* (1830), en la que Charles LYELL (1797-1875) explicó la doctrina del uniformismo. Las bases de la Paleontología fueron creadas en Francia por Georges CUVIER (1769-1832), autor de numerosos tratados sobre esta disciplina, y Alexandre BRONGNIART (1770-1847).

La evolución ulterior de la Geología se caracterizó por el uso del microscopio polarizante y la elaboración de teorías sobre los mantos de corrimiento, las transgresiones y regresiones marinas y la deriva de los continentes, defendida esta última por el alemán Alfred WEGENER (1880-1930). Los adelantos posteriores de la ciencia han sido aplicados a la investigación geológica : rayos X para el estudio de los minerales, radiactividad para determinar la edad absoluta de las rocas y la aviación para el levantamiento de alzados topográficos. El estudio de la corteza terrestre se ha visto facilitado por la aplicación de métodos geofísicos, mientras que la Termodinámica ha contribuido eficazmente a explicar el movimiento orogénico o formación de las montañas.

Concepto y contenido. — Antes de entrar de lleno en el tema de la *Geología*, ciencia que, como la etimología de la palabra indica, se refiere al estudio de la Tierra, deben abordarse, aunque sea brevemente, algunos conceptos relativos a nuestro planeta, advirtiendo que estos últimos son objeto de especulaciones e hipótesis diversas dentro de la Astronomía y Astrofísica.

Se admite generalmente que la pequeña parcela del Universo conocida con el nombre de *Sistema Planetario Solar* se formó hace unos 4 600 ó 5 000 millones de años. Fue consecuencia de desprendimientos del Sol, que es la estrella central y está constituida principalmente por partículas elementales y átomos ligeros de hidrógeno y helio.

Centrándonos concretamente en la Tierra y admitiendo esos 4 600 millones de años en el Sistema Solar, se suele atribuir una edad de 3 000 a 3 500 millones de años a las rocas terrestres más antiguas. Hay que considerar dos factores básicos para explicar la historia pregeológica y la dinámica posterior : la *cantidad de masa* acumulada en el Planeta y la *composición* de la misma. La primera genera la acción de la gravedad, condiciona la presión interna, incide en las velocidades de rotación y de traslación y determina una densidad media que se estima de 5,5 g/cm³; la segunda representa una fuente energética, base del calor interno, y determina la evolución de la energía liberada al desintegrarse los isótopos radiactivos. Ambos factores, cantidad y composición, condicionan en la actualidad, lo mismo que en el pasado, todos los fenómenos geológicos. Si hubieran sido diferentes, las consecuencias geológicas derivadas de ellos no serían las mismas. Puede afirmarse que la Tierra, existente hace unos 4 800 millones de años, no ha finalizado todavía de evolucionar, y el constante trasiego de materia y energía, entre zonas internas y externas de la corteza terrestre, prueba la continua modificación que se verifica dentro del Planeta. No obstante, hemos de consignar que los tiempos en que tales cambios se producen no pueden medirse con las escalas temporales empleadas generalmente por el hombre, por lo cual hay que recurrir a otras muy superiores.



Curva hipsográfica que representa el relieve y los diferentes planos de las alturas del globo terráqueo.



Esta fotografía de la Tierra, tomada desde un satélite artificial, muestra claramente la curvatura del horizonte del planeta en que vivimos.

Utilidad de la Geología. — Dentro del estudio de la Tierra, la Geología trata de la composición y estructura de la misma, así como de los fenómenos que en ella tienen o tuvieron lugar. No es una ciencia meramente descriptiva, ya que investiga también el porqué de los fenómenos observados y formula las leyes que los rigen. Esto requiere la utilización de otras ciencias o técnicas auxiliares, imprescindibles para poder comprender el proceso geológico.

El estudio de los fenómenos que modelan la superficie del globo terráqueo corresponde a la *Geodinámica externa*, en la cual se incluyen la *Geomorfología* y la *Fisiografía*, con objetivos más específicos, así como la *Oceanografía* y la *Meteorología*. Cuando se quiere determinar el tiempo en que ocurrieron los fenómenos que transformaron la estructura o la composición de la corteza terrestre, es necesario recurrir a la *Geología histórica*, eficazmente auxiliada por la *Paleontología*, que se ocupa de los seres orgánicos a partir de la observación de los fósiles. Las causas y fuerzas determinantes de los cambios y procesos geológicos constituyen el objeto de la *Geofísica*. El mejor conocimiento de minerales y rocas se hace posible gracias a la *Mineralogía* y a la *Petrografía*, y se puede ampliar, en lo que se refiere a la estructura íntima y a la composición de esos materiales, por medio de la *Cristalografía general* y la *Geoquímica*, respectivamente.

La importancia y utilidad de la Geología son evidentes y gracias a ella son posibles los progresos en las técnicas relacionadas con la minería, agricultura, ingeniería e industria.

Investigación geológica. — El origen de los cambios ocurridos en la Tierra en épocas pasadas se atribuyó, hasta el siglo XIX, a los cataclismos. Sin embargo, el geólogo británico Charles LYELL (1797-1875) invalidó esta teoría y sentó las bases de la Geología moderna con la doctrina del uniformismo, conocida actualmente como *actualismo geológico*. Según ésta, los fenómenos han ocurrido siempre del mismo modo que en el momento presente, pero los períodos en que se producen son de gran duración, hasta tal punto que la unidad técnica adoptada como patrón es el *cron*, equivalente a un millón de años.

El *ciclo geológico* corresponde a una serie de acontecimientos que afectan a los materiales de la corteza terrestre en tres fases : surgimiento o emergencia, erosión y sedimentación. Para llevar a cabo la investigación geológica se realizan trabajos en el terreno (observación, registro y toma de muestras) y trabajos de laboratorio (estudio y análisis de dichas muestras, interpretación de la cartografía geológica y fotogeológica).



Archaeopteryx, vertebrado fósil, que presenta a la vez caracteres de ave y reptil, encontrado en las calizas litográficas del Jurásico Superior (Eichstädt, Baviera).

Composición de la Tierra

La mayoría de los fenómenos geológicos tienen lugar en la *corteza terrestre*, al menos los que observan los especialistas. Esto, sin embargo, no excluye la importancia de los que ocurren interiormente. La corteza sufre intensa y continuamente acciones destructivas y constructivas. Contiene materiales internos, expulsados de modo general por erupciones volcánicas, y está sometida a agentes externos, lo cual permite sacar conclusiones aproximadas acerca de la estructura cortical y de las proporciones que en ella representan las rocas y los minerales.

Esos datos, conocidos desde hace tiempo y calculados según unos promedios, pueden exponerse de la siguiente forma, consideradas las composiciones en tantos por ciento :

Composición química de las principales rocas

COMPONENTES	CORTEZA CONTINENTAL	GRANITOS	BASALTOS	PIZARRAS ARCILLOSAS
SiO_2	61,9	72,3	50,8	55,1
Al_2O_3	15,6	14,0	14,1	16,3
Fe_2O_3	2,6	0,9	2,9	4,2
FeO	3,9	1,5	9,1	1,9
MgO	3,1	0,5	6,3	2,5
CaO	5,7	1,4	10,4	4,7
Na_2O	3,1	3,1	2,2	0,7
K_2O	2,9	5,1	0,8	3,0

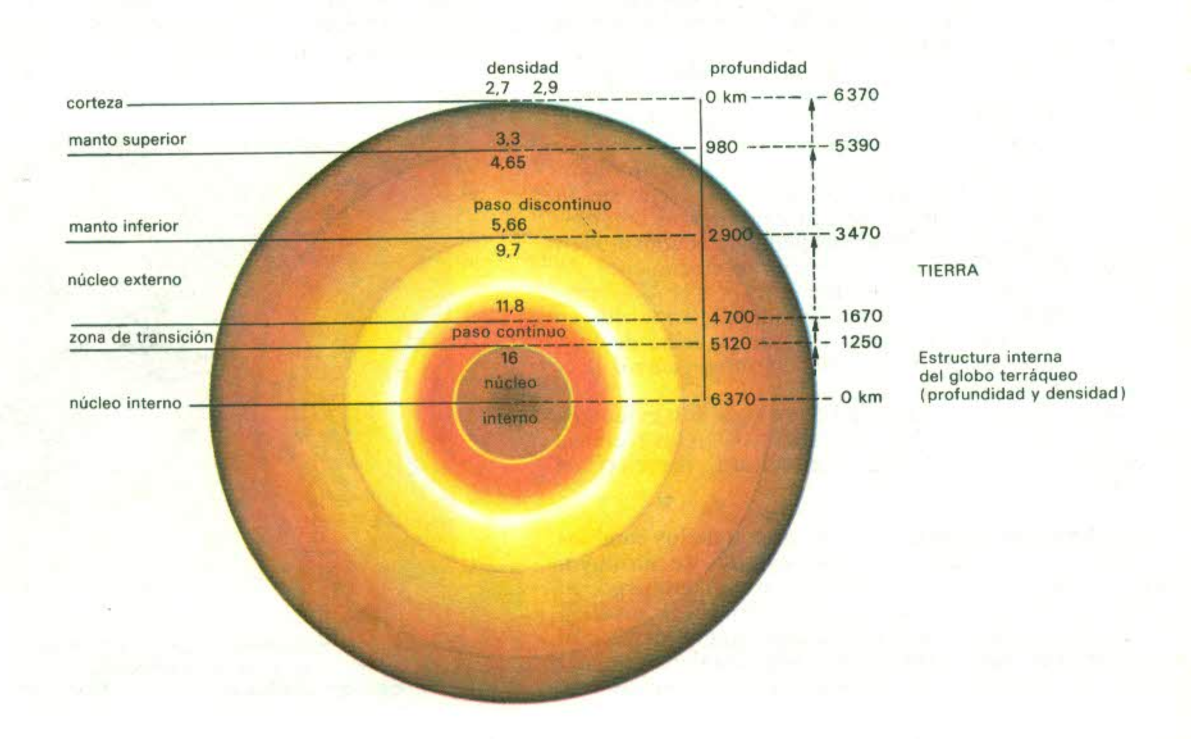
Otra parte digna de estudio de la corteza terrestre es la llamada *corteza oceánica*, prolongación de la anterior en los fondos marinos. Ésta es objeto actualmente de profundas investigaciones geológicas y geofísicas y se puede afirmar que, bajo una capa sedimentaria de unos 0,5 km de espesor medio, aparecen con frecuencia lavas submarinas de composición basáltica. Tras la corteza, pero mucho más profundamente, se encuentra el *manto*, que representa aproximadamente el 82 por ciento del volumen del Planeta, cuya composición aparece, en proporciones decrecientes, en el cuadro siguiente :

COMPONENTES	PESO EN %
SiO_2	45,2
MgO	37,5
FeO	8,0
Al_2O_3	3,5
CaO	3,1
TiO_2	0,7
Fe_2O_3	0,5
Cr_2O_3	0,4

Dos proyectos científicos internacionales han tratado de llegar a conocer mejor el manto : el Proyecto del Manto Superior, en 1962, y el Proyecto Geodinámico, en 1972.

Finalmente, entre las discontinuidades de Gutenberg y Lehmann, situadas respectivamente a 2900 y 5080 kilómetros de profundidad, se encuentra el *núcleo*, llamado también *batisfera* o *nife*. Éste dada su elevada densidad (10 g/cm³) debe tener una composición metálica.

Corteza, manto y núcleo son, por tanto, las tres divisiones fundamentales del Planeta. En la corteza hay rocas y minerales. Estos últimos se estudiarán más adelante en el capítulo titulado *Mineralogía*, situado después de la *Cristalografía*, puesto que dichos minerales suelen presentarse siempre bajo formas cristalinas.



Estructura interna del globo terráqueo (profundidad y densidad)



fosfato de uranio — *aguamarina* — *azufre en una calcita*

turmalina roja — *falso topacio* — *berilo* — *fluorina amarilla*

Cristalografía

Estructura mineral. — Cristaloquímica : Cualidades. Génesis y crecimiento de los cristales. — Cristalografía geométrica : Simetría y estructuras. Leyes cristalográficas. — Cristalofísica : Propiedades ópticas. Polarización de la luz. — Sistemas cristalinos : Descripción de los sistemas. Asociaciones cristalinas.

La *Cristalografía* es la ciencia que trata de la materia cristalina, de las leyes que rigen la formación de los cristales y de las propiedades geométricas, físicas y químicas de los mismos. Puede considerarse, por lo tanto, como base de la Mineralogía y de las ciencias del estado sólido de la materia.

Los cuerpos adoptan una estructura cristalina cuando la materia pasa al estado sólido y toman la mayoría de las veces formas poliédricas definidas, recibiendo en este caso el nombre de cristales.

La *Cristaloquímica*, la *Cristalografía geométrica* y la *Cristalofísica* analizan las propiedades de los cristales desde los puntos de vista químico, externo o interno. La estructura íntima de la materia mineral consiste en ínfimas partículas que pueden ser iones, átomos o moléculas, que se agrupan entre sí de diferente manera para originar dos tipos fundamentales de estructura : cristalina y amorfa.

Estructura mineral. — La estructura mineral es *cristalina* cuando la ordenación de las partículas se hace de modo que éstas ocupen los nudos de una red paralelepipédica y es *amorfa* si las mencionadas partículas se colocan sin seguir orden alguno.

La red paralelepipédica, que recibe también el nombre de *red espacial* o *retículo cristalino*, tiene tres dimensiones y cada una de ellas puede considerarse como formada por un paralelepípedo fundamental o *malla*, que se repite indefinidamente. Esta malla, según la longitud de las aristas y el valor angular, puede ser *simple*, cuando las partículas se encuentran únicamente en los vértices, y *múltiple*, si las hay también en otros puntos.

Los cristales, distribuidos en siete grupos llamados *sistemas cristalinos* por la malla que poseen, se estudiarán más adelante.

CRISTALOQUÍMICA

Cualidades. — La *Cristaloquímica* estudia las propiedades de los cuerpos cristalinos en función de los enlaces que presentan los átomos, que pueden ser metálico, iónico o heteropolar y atómico u homopolar.

Se habla de *enlace metálico* cuando los átomos se hallan inmersos en un fluido electrónico, con atracción mutua entre átomos positivos y fluido negativo, lo que proporciona gran estabilidad al cristal y hace que los metales sean excelentes electroconductores.

Se trata de un *enlace iónico* o *heteropolar* en el caso en que las partículas consistan en iones unidos solamente por atracción electrostática, como ocurre en la estructura típica de las sales, generalmente de poca cohesión.

Se observa un *enlace atómico* u *homopolar* si los átomos se unen teniendo en común los mismos electrones; lo característico de este tipo es la gran cohesión atómica existente, que se pone de relieve en la dureza que presentan los minerales de este grupo, como el diamante o el cuarzo.

Otras cualidades cristaloquímicas son el *isomorfismo*, o idéntica cristalización de dos minerales diferentes, y el *polimorfismo*, propio de algunos minerales que, teniendo la misma composición química, cristalizan en distintas clases de un mismo sistema o en sistemas diferentes.

Génesis y crecimiento de los cristales. — Las partículas que constituyen la materia mineral (iones, átomos y moléculas) han de hallarse necesariamente libres para que se realice la formación de un cristal. De este modo pueden orientarse y atraerse, según sus afinidades, y producen cristales microscópicos, a modo de gérmenes cristalinos.

Esos diminutos cristales pueden atraer luego a otras partículas para ir creciendo por aposición o depósito de materia a su alrededor.

CRISTALOGRAFÍA GEOMÉTRICA

Simetría y estructuras. — La *Cristalografía geométrica* considera exclusivamente el cristal desde el punto de vista de su forma poliédrica y las caras, aristas y vértices del mismo se relacionan entre sí por medio de la llamada ecuación de Euler :

$$\text{cara} + \text{vértice} = \text{arista} + 2$$

Las moléculas o los átomos del cristal pueden hallarse colocados de modo regular y determinar posiciones idénticas de los distintos elementos. Esta disposición recibe el nombre de *simetría*, y los ejes, planos y centro del cristal se denominan *elementos de simetría*. Existen una simetría cristalina y otra geométrica. En el poliedro cristalino, lo esencial es la estructura u ordenación de las partículas y en el poliedro geométrico lo fundamental lo constituye la forma. Habrá, por consiguiente, simetría cristalina cuando la ordenación de átomos y moléculas determine puntos homólogos respecto a un elemento de simetría.

Para fijar espacialmente la posición de las caras de un cristal, se trazan por el centro tres rectas ideales, no situadas en el mismo plano, que constituyen, al cortarse, la *cruz axial*, la cual forma ángulos. Aristas y ángulos se denominan *constantes cristalográficas*.

Las *caras* de un cristal, según la posición que tienen con respecto a los tres ejes cristalográficos, se dividen en tres clases : *piramidales*, si cortan los tres ejes, *prismáticas*, cuando cortan dos de los tres ejes y son paralelas al tercero, y *pinacoidales*, cuando cortan un eje y son paralelas a los otros dos.

Las diferentes maneras de relacionarse entre sí las formas cristalinas derivan unas de otras por diversas modificaciones de los elementos cristalográficos, que pueden ser truncamiento, biselamiento o apuntamiento.

Leyes cristalográficas. — El estudio de los cristales se basa en tres leyes fundamentales que se enunciarán en los tres párrafos siguientes.

La *ley de la constancia de los ángulos diedros* dice que, cualquiera que sea el tamaño, la forma y la regularidad de los planos de un cristal, el valor de los ángulos diedros no varía, o sea, es constante.

La *ley de simetría* afirma que, si se modifican simultáneamente y del mismo modo los elementos homólogos de un cristal (caras, aristas y vértices), la simetría sigue siendo constante.

La *ley de racionalidad de los parámetros* indica que la relación entre los parámetros (relaciones entre los segmentos determinados sobre cada eje) de todas las caras de un cristal sobre un mismo eje será siempre un número racional.

CRISTALOFÍSICA

La *Cristalofísica*, como el mismo nombre indica, estudia las propiedades físicas de la estructura interna de la materia cristalina. Si éstas (fragilidad, dureza, etc.) varían con la dirección, se habla de *anisotropía*, y, en caso contrario, de *isotropía*. Las sustancias que cambian de intensidad según la dirección se denominan *vectoriales* y se les califica de *homogéneas* si la materia cristalina no presenta diferencia alguna desde el punto de vista fisicoquímico.

Estas propiedades dependen de la estructura, que puede ser elástica, exfoliada y fracturada.

Propiedades ópticas. — La materia cristalina tiene, además, varias propiedades ópticas referentes al *color*, debido a las radiaciones luminosas reflejadas por el cristal, y al *brillo*, que puede ser vítreo, metálico e irisado o cambiante. En relación con la refracción de la luz, los cristales pueden propagar ésta con igual velocidad en todas las direcciones, en cuyo caso se dice que hay *isotropía óptica*, como sucede en los cuerpos del sistema regular y en los amorfos, o variar el índice de refracción en función de las direcciones propagadoras, fenómeno que se denomina *anisotropía óptica*. Si a cada rayo incidente le corresponde uno refractado, se dice que el cristal es *monorrefringente*, pero se le califica de *birrefringente* cuando refracta doblemente la luz, como ocurre con el espato de Islandia.

Podría detallarse más el concepto de anisotropía añadiendo que en los cristales del sistema tetragonal y hexagonal existe una dirección *(eje óptico)* en la que no hay doble refracción; los cristales que son así se llaman *uniáxicos*, para diferenciarlos de los *biáxicos* existentes en los sistemas rómbico, monoclínico y triclínico, que poseen dos ejes ópticos por tener dos direcciones de monorrefringencia.

Polarización de la luz. — Cuando la luz, al atravesar los minerales birrefringentes, vibra en un solo plano, en vez de hacerlo en todos, se dice que está *polarizada*. Este fenómeno, muy utilizado en el reconocimiento de sustancias minerales u orgánicas, ha hecho que, basándose en él, se realice una compleja serie de pruebas, conocidas con la denominación genérica de *análisis polarimétricos*.

Sistemas cristalinos

Los cristales presentan varios elementos de simetría (ejes, planos y centro), determinados por la dirección y no por la posición. El examen de los elementos de simetría de la red permite distinguir siete sistemas cristalinos entre las treinta y dos clases de simetría cristalina obtenidas por las distintas combinaciones de los elementos anteriormente mencionados. Cuando un cristal presenta todos los elementos de simetría del sistema al que pertenece se dice que es *holoédrico*, al faltar algunos de ellos se le califica de *meroédrico* y se le denomina *hemiédrico* si posee la mitad de las caras por tener menos elementos de simetría. La holoedria y la meroedria no se manifiestan sólo en las formas cristalinas, sino también en otras propiedades, como el poder rotatorio, la piroelectricidad y la piezoelectricidad.

Descripción de los sistemas. — Se distinguen siete sistemas cristalinos : cúbico, hexagonal, romboédrico, tetragonal, rómbico, monoclínico y triclínico.

Sistema cúbico. — En este sistema las tres aristas son iguales ($a = b = c$), hay tres ángulos rectos (α, β, γ) y la malla es cúbica, ya sea simple o compuesta. Las principales formas son el cubo, el octaedro regular y el dodecaedro romboidal.

Sistema hexagonal. — En este sistema el parámetro c es mayor que los otros ($a = b < c$), hay dos ángulos rectos y otro diferente ($\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$) y la malla es un prisma recto de base hexagonal regular. Las principales formas son la bipirámide dihexagonal, el prisma dihexagonal, la bipirámide hexagonal y el prisma hexagonal.

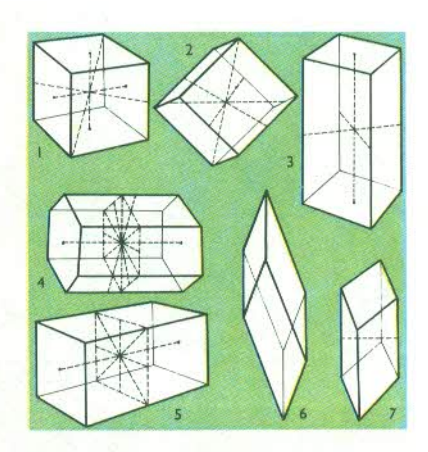
Sistema romboédrico. — En este sistema las tres aristas son iguales ($a = b = c$), hay dos ángulos rectos y otro diferente ($\alpha = \beta = 90^0$, $\gamma = 120^0$) y la malla es un romboedro. Las principales formas son el romboedro y el escalenoedro, como holoedrias del sistema.

Sistema tetragonal. — En este sistema la arista c es mayor que las otras ($a = b < c$), hay tres ángulos rectos ($\alpha = \beta = \gamma = 90^0$) y la malla es un prisma recto de base cuadrada con un nudo en cada vértice. Las principales formas son la bipirámide ditetragonal, el prisma ditetragonal, la bipirámide tetragonal y el prisma tetragonal.

Sistema rómbico. — En este sistema las tres aristas son desiguales ($a \neq b \neq c$), hay tres ángulos rectos ($\alpha = \beta = \gamma = 90^0$) y la malla es un prisma recto de base rectangular. Las principales formas son el prisma rómbico y la bipirámide rómbica.

Sistema monoclínico. — En este sistema las tres aristas son desiguales ($a \neq b \neq c$), hay dos ángulos rectos y otro diferente ($\alpha = \gamma = 90^0 \neq \beta$) y la malla es un prisma oblicuo de base rectangular. Las principales formas son el prisma y la bipirámide monoclínica.

Sistema triclínico. — En este sistema las tres aristas son desiguales ($a \neq b \neq c$), hay tres ángulos que no son rectos ($\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^0$) y la malla es un prisma oblicuo de base paralelográmica. Las principales formas son el prisma triclínico y la bipirámide triclínica.



Sistemas cristalinos : 1. Cúbico; 2. Romboédrico; 3. Prisma recto de base romboidal; 4. Prisma recto de base hexagonal; 5. Prisma recto de base cuadrada; 6. Prisma oblicuo cuyas bases están formadas por paralelogramos; 7. Prisma oblicuo de base romboidal.

Asociaciones cristalinas. — Las moléculas, en el proceso de cristalización, se agrupan por mera yuxtaposición en torno a un núcleo o germen dando lugar al cristal. Sin embargo, éste no se forma de manera aislada, sino constituyendo grupos o asociaciones cristalinas, que pueden ser *irregulares* o *regulares* (paralelas y simétricas o maclas). Según la superficie de inserción, las irregulares se dividen en *drusas*, cuando aquélla es plana o convexa, *geodas*, si es cóncava, y *dendritas*, en el caso en que se encuentre en las fisuras de las rocas. Las agrupaciones simétricas o maclas resultan de la unión de dos o más cristales de la misma especie y pueden ser de tres clases diferentes (de yuxtaposición, de intrusión o múltiples).

Mineralogía

Génesis y paragénesis de los minerales. Clasificación e identificación. Yacimientos. — Minerales de rocas magmáticas : Silicatos. Cuarzo. — Minerales de yacimientos sedimentarios. — Minerales filonianos : Grupo del hierro. Grupo del cinc. Grupo del cobre. Otros minerales. Minerales en estado nativo. — Rocas orgánicas : Rocas carbonosas. Petróleos. Asfaltos.

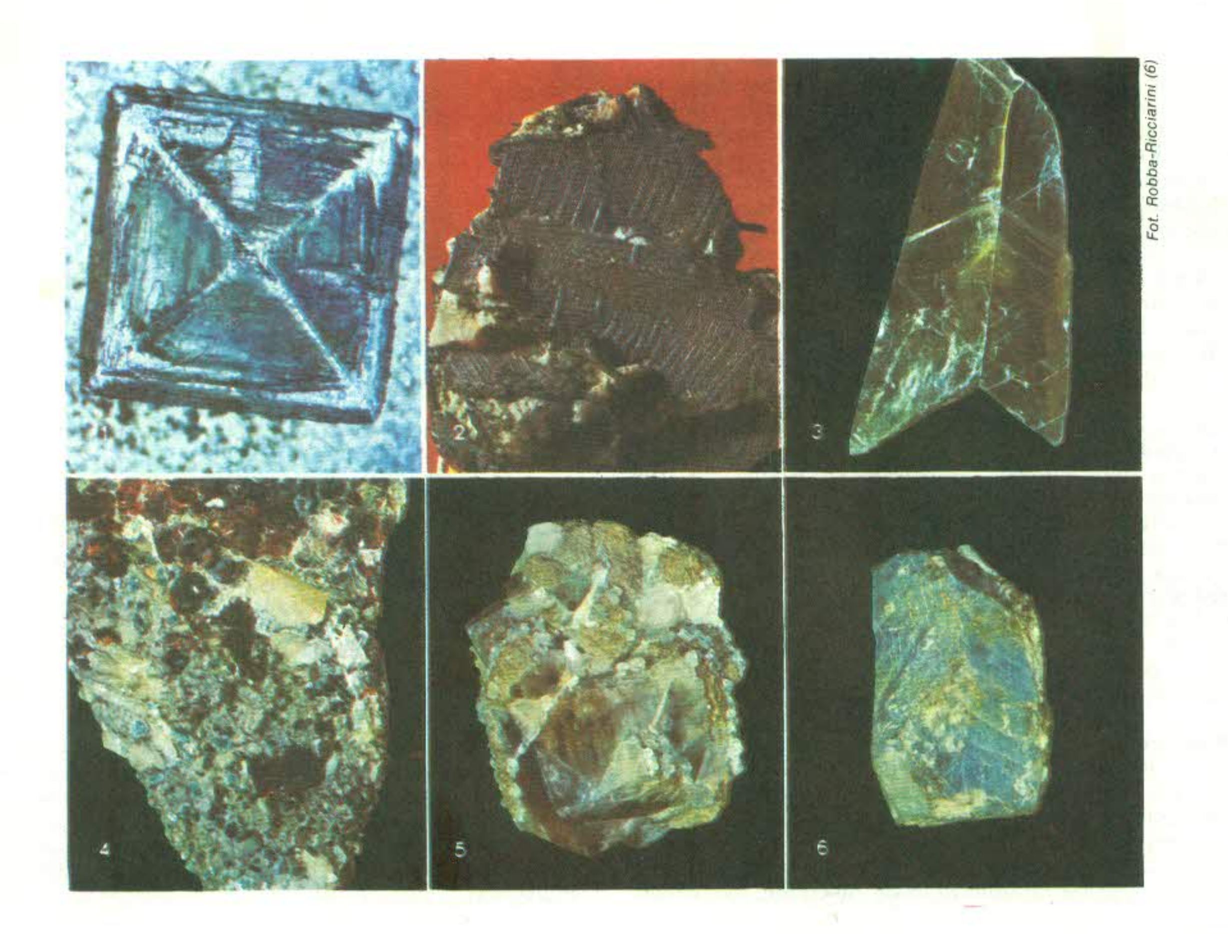
Se define la *Mineralogía* como la ciencia que estudia los minerales, especies químicas naturales con muchas impurezas, que se encuentran en la endosfera y, a veces, en la litosfera. Las rocas son agregados en cuya composición entran diversos minerales.

Los minerales tienen una importancia considerable ya que son una necesidad absoluta para el hombre. Son sustancias sólidas o líquidas que tienen una composición química fija y una estructura cristalina.

Génesis y paragénesis de los minerales. — La formación de los minerales se debe a sedimentación, metamorfismo, acumulación y transformación de restos orgánicos, solidificación o sublimación. Estos procesos están íntimamente relacionados con diversos fenómenos geológicos, lo cual explica la importancia del metamorfismo geológico que somete los minerales a la acción de altas temperaturas y presiones, a transformaciones por contacto con magmas eruptivos o a los efectos de emanaciones gaseosas magmáticas.

De modo general, una clase mineral se forma conjuntamente con otras, de tal manera que se produce una unión entre ellas. A este fenómeno se le llama *paragénesis*, cuyo ejemplo puede ser el de la cuarcita y la blenda, que suelen acompañar a la galena.

Clasificación e identificación. — Los minerales, en función del origen y del estado en que se encuentran en la naturaleza, pueden clasificarse en **magmáticos,** es decir, mezclados unos con otros desde la consolidación del magma eruptivo inicial, **sedimentarios,** si se han acumulado por depósito bajo la acción del viento o por evaporación del agua en que estaban disueltos, **filonianos,** si rellenan grietas y son de origen sedimentario, neumatolítico (procedentes de magmas eruptivos) o hidrotermal (disueltos en aguas cálidas) [cuando se presentan en arenas o en placeres se les llama a veces *parafilonianos*], **metamórficos,** si resultan de la transformación de los filonianos, y **orgánicos,** consistentes en restos de microfauna, macrofauna o vegetaciones pretéritas. Para reconocer un mineral se pueden estudiar distintos aspectos del mismo, como los caracteres *organolépticos*, perceptibles por el tacto, sabor, adherencia, etc.; la *forma*, mediante la cristalografía geométrica que permite medir los ángulos con el auxilio del goniómetro de contacto; las *propiedades físicas*, gracias a la cristalografía y la ayuda del polarímetro, del microscopio electrónico y de la espectrografía infrarroja; las *cualidades químicas*, con los ensayos pirognósticos o hidrognósticos y el empleo de los reactivos químicos utilizados en cristaloquímica para el reconocimiento de aniones y cationes.



Diferentes clases de minerales : 1. Sal gema ; 2. Mineral de plata de Bolivia ; 3. Yeso llamado « en punta de lanza » ; 4. Granates ; 5. Fluorita con siderita y calcita ; 6. Corindón.

Yacimientos. — Se llama *yacimiento* a la acumulación de sustancias minerales útiles en el subsuelo o en la superficie terrestre. Si éste se encuentra en el mismo lugar de su formación, se denomina yacimiento *primario* o *criadero* y puede presentarse en estratos superpuestos, bolsadas sin forma concreta y filones que llenan grietas del terreno u oquedades de rocas porosas. Cuando los minerales no se encuentran en el mismo lugar de formación, se dice que el yacimiento es *secundario*.

Minerales de rocas magmáticas

La mayoría de los minerales de las rocas magmáticas, que constituyen aproximadamente el 90 por ciento de la corteza terrestre, son silicatos, asociados frecuentemente al cuarzo. Se incluyen también en este grupo los procedentes de la consolidación del magma por enfriamiento. Desde el punto de vista químico, el cuarzo es un anhídrido silícico (SiO_2), mientras que los silicatos resultan de la combinación del cuarzo con los óxidos metálicos.

Silicatos. — Los silicatos, según su origen, pueden ser primarios, metamórficos y de alteración.

Los *primarios* se originan en los magmas eruptivos y, entre los más importantes, se pueden señalar los **feldespatos,** de estructuras tetraédricas de sílice, con vértices unidos, que proceden de rocas básicas (plagioclasas) o ácidas (ortosas) [se encuentra abundantemente en la naturaleza el feldespato-ortosa, uno de los componentes del granito]; los **piroxenos,** silicatos de magnesio y hierro, a veces con calcio, que forman parte de algunas rocas básicas; los **anfíboles,** muy parecidos a los anteriores, que son de consistencia fibrosa y constituyen excelentes aislantes térmicos (los más utilizados son el amianto y el asbesto); y las **micas,** silicatos alumínico-férricos, flexibles y de consistencia exfoliable, que entran en la composición de diversas rocas, como el granito, y presentan gran resistencia al calor y a la electricidad (la moscovita, silicato alumínico potásico, se emplea como aislante eléctrico).

Los *metamórficos* están constituidos por los primarios, después de la transformación sufrida a causa de las altas presiones y temperaturas a las que han estado sometidos en el interior de la Tierra. Los más característicos son las **turmalinas,** nombre aplicado a algunas variedades de esta clase en las que entran el boro y el flúor y que son silicatos alumínicos a los cuales se pueden agregar otros elementos como hierro, litio, magnesio, etc. (Se suelen emplear en bisutería por su color agradable); el **topacio,** fluosilicato alumínico, usado en joyería por el atractivo color amarillento que tiene, que se encuentra abundantemente en Ceilán; el **berilo,** silicato de aluminio berílico, muy valioso cuando se trata de esmeralda verde, existente sobre todo en Colombia y los Urales, y de aguamarina azul; los **granates,** silicatos complejos, de vivo color rojo, que se utilizan en joyería; y el **corindón,** sesquióxido de aluminio, de gran dureza, muy estimado como piedra preciosa (esmeralda, rubí, amatista oriental y zafiro).

Los silicatos *de alteración* proceden de la descomposición causada en el interior de la tierra por diversos agentes de los silicatos primarios y metamórficos. Entre las diferentes variedades se encuentran las **arcillas,** silicatos alumínico-hidratados, con óxidos férricos e impurezas que, por su carácter moldeable, se emplean en industrias cerámicas; las arcillas *gredosas,* las *eméc-ticas* y las *margosas*; el *loess,* mezcla de arcilla, caliza y arena, que forma grandes llanuras en Argentina; el *caolín,* variedad de color claro, de mayor pureza, que procede de los feldespatos y es muy utilizado en la fabricación de cerámica fina.

Tiene asimismo gran importancia el **talco,** silicato magnésico hidratado, exfoliable y muy untuoso al tacto, que se emplea como polvos de aseo para absorber el sudor y también como aislante térmico, para la confección de pinturas, tizas, cerámicas, etc.

Cuarzo. — El *cuarzo,* anhídrido silícico formado exclusivamente por tetraedros de sílice en cadenas helicoidales que están unidas entre sí en cualquier dirección, es el constituyente principal de las rocas ácidas, como el granito, y uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre (12 %). Se divide en dos clases, según su génesis : el **cuarzo filoniano,** formado por acción hidrotermal en los silicatos, que, al descomponerse, dan una sílice gelatinosa, presente en filones y vetas, y cuyas principales variedades son los ópalos, jaspes y calcedonias (entre estas últimas se sitúan los ónices y ágatas), y el **cuarzo petrogenético,** procedente de magmas ácidos con excedente de SiO_2, que aparece en las cuarcitas y en el granito. La descomposición de estas rocas magmáticas produce arena y sílice granular. Todas las variedades de este último tipo están cristalizadas y la más notable de ellas, el cristal de roca, es termorresistente y de gran utilización en microscopia óptica, mecánica de precisión e industria electrónica. También son importantes, por el uso que tienen en joyería, la amatista, el jacinto y el falso topacio. Los mayores yacimientos de cuarzo en el mundo se encuentran en Brasil.

Minerales de yacimientos sedimentarios

Los minerales de estos yacimientos se formaron por evaporación del agua y su separación dependió de la solubilidad de las sales. Así aparecieron, en capas intercaladas, depósitos de cloruro sódico-potásico y potásico-magnésico que habitualmente se presentan juntos. Se citarán a continuación los principales minerales de este tipo.

La **silvina** es un cloruro potásico delicuescente, del sistema cúbico, incoloro o rojizo, cuando contiene sustancias extrañas. Se usa como abono y para obtener sales potásicas. La mina principal se encuentra en Stassfurt (Alemania).

La **sal gema** es un cloruro sódico, del sistema cúbico. Incoloro o blanco, cuando es puro, posee un brillo vítreo y es transparente o translúcido, blando, ligero y soluble en agua. Es la *sal común,* abundante en la naturaleza, imprescindible como condimento y para la conservación de alimentos, así como para fabricar ácido clorhídrico, carbonato sódico y sosa cáustica.

El **nitro** y la **nitratina** son dos nitratos. El primero, llamado también *salitre,* es un nitrato potásico, rómbico, y el segundo, denominado *nitrato de Chile,* es un nitrato sódico, trigonal. Ambos tienen propiedades físicas muy parecidas : son blancos o grises, de sabor salado y muy solubles en agua. El nitro se emplea como abono y para fabricar pólvora. La nitratina, cuya formación la atribuyen algunos a la descomposición del guano, mientras otros creen que procede de la combinación de nitrógeno volcánico con sal marina, se usa como abono y para obtener ácido nítrico y nitrato potásico. El nitro se encuentra en varios puntos de La Mancha (España), en forma de eflorescencias o costras, y en Cochabamba (Colombia), y la nitratina en Chile (Atacama), Perú, Bolivia, Egipto, la India y Estados Unidos (California).

El **yeso** es un sulfato cálcico hidratado del sistema monoclínico, de color blanco o incoloro en estado puro. Se emplea en la construcción y en medicina y suele tener un brillo nacarado o sedoso cuando es fibroso. Las diversidades compactas, sacaroides, constituyen el *alabastro,* y el yeso común puro lleva el nombre de *escayola.*

La **pirolusita** es un bióxido de manganeso tetragonal. Se presenta en masas terrosas negras, que tiznan los dedos, o en agrupaciones fibrosas de color gris acero, y se utiliza para descolorar el vidrio o para la obtención del cloro.

La **fosforita** es un fosfato tricálcico del sistema hexagonal, que tiene una composición química variable. Es de color blanco o blanco amarillento y poco soluble en agua. Se utiliza para obtener el fósforo y como abono, previa transformación en superfosfato. Existen ricos yacimientos en Argelia (Tebessa), Estados Unidos (Florida) y España (Cáceres, Badajoz y Córdoba).

Diferentes variedades de cuarzo



Fot. Larousse (3)

Rutilo en el interior del cuarzo.



Amatista, clase de cuarzo hialino de color violeta.

El cristal de roca, además de su utilización en industrias de precisión, se emplea también en joyería y orfebrería.





Fot. Larousse

El ágata, muy dura y algo transparente, es una variedad de la calcedonia.



Cristales de azufre.



El **azufre,** mineral dimorfo que cristaliza en el sistema rómbico o monoclínico, es de color amarillo limón, a veces gris o negruzco por las impurezas que contiene (tierras azufrosas), de brillo resinoso, blando, ligero y frágil. Se encuentra en estado nativo y mezclado a veces con mucha ganga y puede ser de origen sedimentario o volcánico. El azufre se utiliza mucho en la industria (para la vulcanización del caucho, como insecticida fumigante y, sobre todo, para la fabricación del ácido sulfúrico).

Minerales filonianos

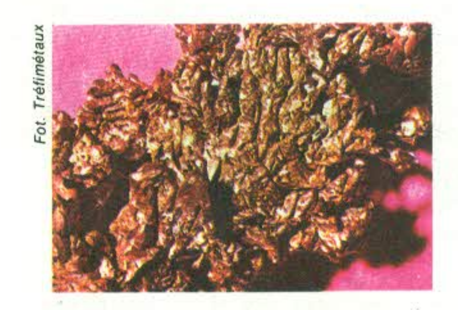
Se denominan *filonianos* los minerales que se presentan en filones, es decir, que rellenan las fisuras de la corteza terrestre. Existen dos tipos de filones, llamados *falla* y *diaclasa*, según procedan o no del corrimiento o desplazamiento de los terrenos en que aparecen encajados. En los filones se distinguen la *mena*, o mineral del cual se extrae el metal, y la *ganga*, constituida por la parte inservible, aunque, a veces, ésta pueda ser de algún provecho. Casi todos los filones se presentan como combinaciones oxidadas o sulfuradas del metal correspondiente y solamente aquellos que se oxidan o sulfuran difícilmente, como el oro o el platino, aparecen libres en la naturaleza. Para estudiar los diferentes metales filonianos, conviene dividirlos en grupos, según la naturaleza del metal, y así trataremos el hierro, el cinc, el cobre, etc.

Grupo del hierro. — El *hierro* apenas existe en estado nativo, puesto que se combina muy fácilmente con el cobre o aparece en forma de óxido o sulfuro. A este grupo pertenecen la **pirita,** bisulfuro de hierro de color amarillo de latón, frágil, pesado y piroeléctrico, que proporciona un hierro bastante quebradizo por el exceso de azufre que contiene y se utiliza preferentemente para la obtención de ácido sulfúrico (son importantes los yacimientos españoles de Riotinto en Huelva); la **magnetita,** óxido ferrosoférrico semiduro y frágil, abundante en las rocas eruptivas, que se comporta como un imán y da un hierro de excelente calidad (se encuentran minas importantes en el norte de África [Rif] y Suecia); la **siderita,** carbonato ferroso frágil, blanco, amarillento o más oscuro, según las impurezas contenidas, que se transforma fácilmente en limonita y proporciona hierro, previa oxidación; y la **limonita,** hidróxido de hierro amorfo, muy difundido en la naturaleza, de color pardo que pasa a amarillento cuando tiene menos cantidad de agua.

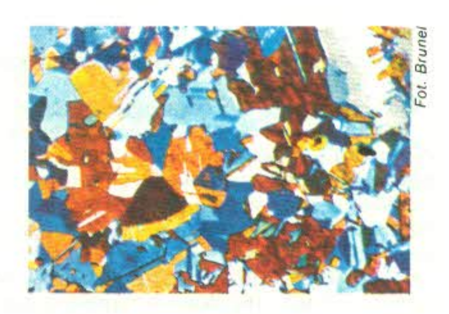


Los cristales de pirita, sulfuro de hierro del sistema cúbico, tienen vivo destello metálico.

Grupo del cinc. — El *cinc* se obtiene principalmente a partir de filones en los que se presenta como sulfuro. A este grupo pertenece la **blenda,** sulfuro de cinc frágil, blando, exfoliable y de color variable, según las impurezas contenidas, que suele presentarse asociado a la galena (sulfuro de plomo), y, a veces, se halla unido a la calamita y a la smithsonita (carbonato de cinc).



Muestra de mineral de cobre nativo.



Colores de interferencia en el cobre puro, obtenidos gracias a una fina capa de sulfuro.

Grupo del cobre. — El *cobre* suele combinarse con el azufre, ya que ambos elementos poseen gran afinidad entre sí, pero puede también aparecer en estado nativo.

A este grupo pertenecen la **cuprita,** óxido cuproso, de color rojo, producto de la oxidación de menas de cobre, que abunda en Chile, Bolivia, Perú y Zaire (en Shaba, antiguamente Katanga); la **calcopirita,** sulfuro de cobre y hierro de color amarillo verdoso, parecido a la pirita, aunque más blando que ésta, que se presenta casi siempre al lado de la pirita, como es el caso en las minas de Riotinto (España); la **malaquita** y la **azurita,** carbonatos hidratados de cobre, cuyos colores verde y azul revelan la presencia del cobre, que se usan esencialmente como piedras decorativas y se encuentran sobre todo en los Urales (U.R.S.S.); y el **cobre nativo,** de color pardo rojizo y brillo metálico, muy dúctil y maleable, buen conductor de la electricidad, que, después del hierro, es el metal más utilizado por la industria

y cuyos principales yacimientos se hallan en la zona del Lago Superior (Estados Unidos), en Bolivia y en Chile.

Otros minerales. — Además de los minerales filonianos descritos anteriormente, cabe señalar la **casiterita,** bióxido de estaño abundante en Bolivia y en la Península Malaya, de color pardo o negro, pesado, duro y frágil, que forma generalmente maclas y es el principal mineral del estaño, con múltiples usos industriales; la **calcita,** carbonato cálcico de brillo vítreo, birrefringente, frágil y poco pesado, muy difundido en la naturaleza, que tiene distintas variedades como las *calizas* y *mármoles*, consideradas como rocas, y el *espato de Islandia*, empleado en aparatos de polarización; la **fluorita,** fluoruro cálcico poco pesado, fácilmente exfoliable, a veces fluorescente o fosforescente, del cual se saca el ácido fluorhídrico y que se usa como fundente en metalurgia y en la industria del vidrio; la **baritina,** sulfato de bario blando, pesado y exfoliable, muy difundido y utilizado para fabricar papeles pesados, pinturas blancas y aprestos de tejidos; la **galena,** sulfuro de plomo abundante en España (Linares, La Carolina), de color gris oscuro, blando, pesado y frágil, frecuentemente unido a la plata (galena argentífera), que se disuelve en ácido nítrico y, además de ser la mena más importante del plomo, se utiliza para beneficiar la plata o en múltiples aplicaciones industriales, especialmente en conducciones y tuberías; el **cinabrio,** sulfuro de mercurio, mena del único metal líquido existente, de color rojo fuerte, blando, pesado, frágil, birrefringente y de origen hidrotermal, cuyo yacimiento más importante del mundo se encuentra en Almadén (España); la **pechblenda** o **uraninita,** óxido de uranio de aspecto compacto y color negro mate, pesado, frágil y semiduro, que es un mineral muy importante para la extracción del uranio, base de la industria nuclear moderna, y que tiene además aplicaciones médicas anticancerosas; la **wolframita,** wolframato de hierro y manganeso de color oscuro, pesado, frágil y semiduro, que representa la principal mena del wolframio o tungsteno y es imprescindible en siderurgia para el endurecimiento del acero o en la industria electrónica, y cuyos productores más importantes son Bolivia, China, Estados Unidos y Portugal; y la **bauxita,** hidróxido de aluminio, de aspecto gelatinoso, que se presenta amorfo y es indispensable para obtener aleaciones ligeras muy empleadas en la industria aeronáutica. Los mayores productores mundiales de este último mineral son Australia, Belice, Surinam, Estados Unidos, Jamaica, Francia, Hungría, Yugoslavia, Unión Soviética, India, Malaysia, Indonesia, Brasil, Ghana, Guinea y Mozambique.

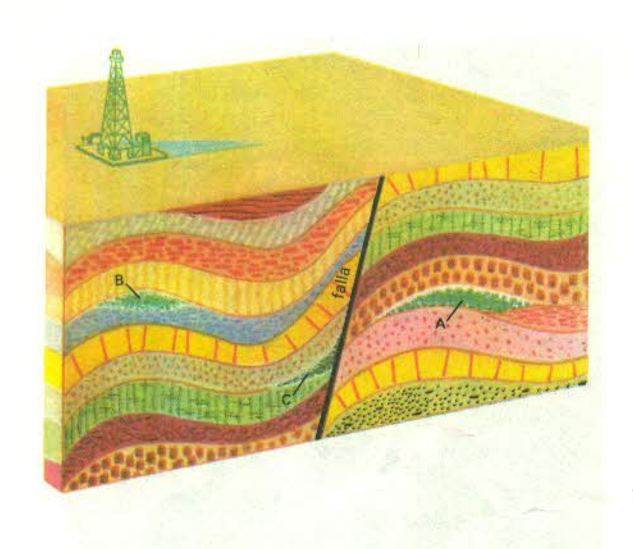
Minerales en estado nativo. — Por la dificultad que tienen en tomar formas oxidadas y sulfuradas, algunos minerales se presentan libres en la naturaleza. Entre éstos figuran el **platino,** descubierto en Colombia en el siglo XVIII en las arenas auríferas del río Pinto, de brillo metálico y configuración en laminillas y pepitas, que se usa esencialmente como catalizador o en joyería y cuyos principales yacimientos se sitúan en Colombia (en el río Condoto, afluente del San Juan, y en las llanuras costeras del Cauca y del Nariño), República de África del Sur y los Urales; el **oro,** metal amarillo inatacable por oxidación y por los ácidos, pesado, dúctil y maleable, cristalizable en el sistema regular, que se presenta en estado nativo en los terrenos de aluvión y en filones de cuarzo aurífero (Transvaal, Rodesia) y tiene usos muy variados (joyería, monedas, medicina, electrónica, etc.); el **diamante,** carbono puro y cristalino, incoloro o levemente coloreado, muy refringente, frágil y exfoliable y el más duro de los minerales (9 Mohs), que es muy apreciado en joyería y se divide en diferentes variedades, entre las cuales la más pura se extrae en Pretoria (República de África del Sur) y Brasil, y las demás se denominan el *bort*, forma no cristalizada muy útil para cortar las piedras preciosas y tallar el vidrio, y el *carbonato*, de uso imprescindible en máquinas perforadoras, sondeos y prospecciones mineras; y, por último, la **plata,** metal extraído esencialmente de las galenas argentíferas, que cristaliza en el sistema cúbico y es dúctil, maleable, más fusible que el oro, buen conductor del calor y de la electricidad y soluble en ácido nítrico. Este metal, abundante en Canadá, Perú, México, Estados Unidos y Unión Soviética, se emplea en joyería.


Fot. Giraudon

Diamante de color rosa.


Fot. Lauros

Muestra de plata nativa procedente de México.



Esquema de un yacimiento petrolífero : A. Anticlinal; B. Bolsada estructural; C. Trampa en cuña.

Rocas orgánicas

Las *rocas orgánicas* están formadas por sustancias minerales procedentes de los restos esqueléticos mineralizados de seres vivos, animales o vegetales, que se han incorporado en grandes cantidades como materiales sedimentarios a las rocas detríticas; a veces los depósitos no son muy cuantiosos, como ocurre con el *ámbar*, hidrocarburo oxidado digno de estudio porque en él se han conservado perfectamente distintos insectos fósiles de gran importancia en Paleontología.

Las rocas sedimentarias orgánicas, desde el punto de vista de la composición, se dividen en *silíceas fitógenas*, como el *trípoli*, tierra de algas diatomeas impregnadas de sílice; en *calizas zoógenas*, como las *lumaquelas*, las *calizas numulíticas* o *coralinas* y la *creta*; y en *rocas carbonosas*, *petróleos* y *asfaltos*, que se tratarán a continuación.

Rocas carbonosas. — Las *rocas carbonosas* constituyen los carbones naturales o carbones de piedra, que resultan de la transformación de restos vegetales acumulados en el fondo de pantanos, lagunas o deltas fluviales mediante la acción de numerosos microorganismos. Este proceso consiste fundamentalmente en un empobrecimiento de hidrógeno y en un progresivo enriquecimiento en carbono de los carbohidratos, componentes esenciales de los vegetales. Según la antigüedad que tienen, estas rocas se dividen en antracita, hulla, lignito y turba.

La **antracita** es el carbón más antiguo (finales del Paleozoico), el más rico en carbono y el más denso. Arde difícilmente, pero con gran potencia calorífica.

La **hulla,** originada también en el Paleozoico, está constituida principalmente por restos de árboles, tiene gran densidad y es rica en carbono; contiene materiales volátiles y, como la antracita, tiene dificultad para arder, pero posee gran potencia calorífica.

El **lignito,** turba que puede considerarse como fósil del Mesozoico, se ha formado con coníferas y tiene una variedad compacta negra, el *azabache*, que se utiliza en joyería.

La **turba,** carbón de más reciente formación producido en zonas pantanosas, es la roca carbonosa que contiene menos cantidad de carbono y arde muy bien, pero tiene escaso poder calorífico.

Las grandes cuencas carboníferas son las de China Popular, actualmente el primer productor mundial, las del Don (U. R. S. S.), Rhur (Alemania), Alsacia (Francia), Cardiff (Gran Bretaña), Pensilvania (Estados Unidos) y Silesia (Polonia). Se encuentran también yacimientos de cierta importancia en otros países, particularmente en Australia, Canadá, Corea, Checoslovaquia, India, África del Sur, Japón y, en menor grado, España y Bélgica. En cambio, son muy poco abundantes en México y en América Central y del Sur.

Petróleos. — El *petróleo natural*, líquido de aspecto aceitoso, menos denso que el agua, está químicamente constituido por la mezcla de hidrocarburos líquidos en los que van disueltos otros cuerpos sólidos y gaseosos, tiene coloración oscura y olor acre e impregna, a presiones altas, rocas de gran porosidad. La presencia entre sus componentes de algunos derivados de la clorofila, de las porfinas y de vestigios de colesterina (compuestos orgánicos) le da una polarización rotatoria que pone de relieve el indiscutible origen orgánico. Las reacciones bacterianas anaerobias en restos vegetales y animales producen sapropeles, seguidos de saponificación, hasta que se llegue por último a los hidrocarburos propiamente dichos.

En función de los elementos que los componen, los petróleos se clasifican en *americanos*, con predominio de hidrocarburos alifáticos (de cadena abierta), *rusos*, formados por ciclanos (hidrocarburos cíclicos en cadena cerrada y saturada), *indonesios*, constituidos por hidrocarburos aromáticos insaturados (bencénicos), y *europeos*, de tipo mixto (hidrocarburos tanto aromáticos como alifáticos).

La extracción se hace perforando el suelo a diversas profundidades, hasta llegar a la bóveda anticlinal o a las masas lenticulares (según la estructura geológica del terreno), lo cual requiere previas exploraciones geofísicas. A la extracción sigue la destilación fraccionada *(cracking)*.

En cuanto a la antigüedad del petróleo, se sabe que el tipo americano se ha formado del Carbonífero al Pérmico (Paleozoico) y que los demás suelen ser terciarios generalmente.

La importancia de este líquido, llamado « oro negro », y la complejidad técnica de su explotación, hace que hoy se hable con toda propiedad de una *tecnología del petróleo*.

Los principales productores del mundo son Estados Unidos, la Unión Soviética, Arabia Saudí, Irán, Venezuela, México, Kuwait, Canadá, Iraq, los Emiratos Árabes Unidos, Libia, Indonesia, China, Argelia y Rumania. En el continente americano, cabe citar además Argentina, Ecuador, Colombia, Brasil, Perú, Bolivia y Chile. La exploración y perforación de nuevos campos petrolíferos se están llevando a cabo con resultados satisfactorios especialmente en el mar del Norte, situado en el NO. de Europa, Alaska y parte del territorio mexicano (Chiapas y Tabasco). La plataforma continental de Argentina encierra grandes reservas.

Asfaltos. — Los *asfaltos* están formados por una mezcla sólida y negra de hidrocarburos naturales. Algunos están disueltos en petróleos, de los cuales constituyen la fracción sólida. Desde un punto de vista cuantitativo, los más interesantes son los que proceden de la oxidación de los petróleos y que impregnan rocas sedimentarias. Éstos tienen el aspecto de un sólido blando, de color negro, que funde a poca temperatura.

El asfalto se utiliza, sobre todo, en la pavimentación de carreteras, y los yacimientos más ricos del mundo se encuentran en Venezuela.

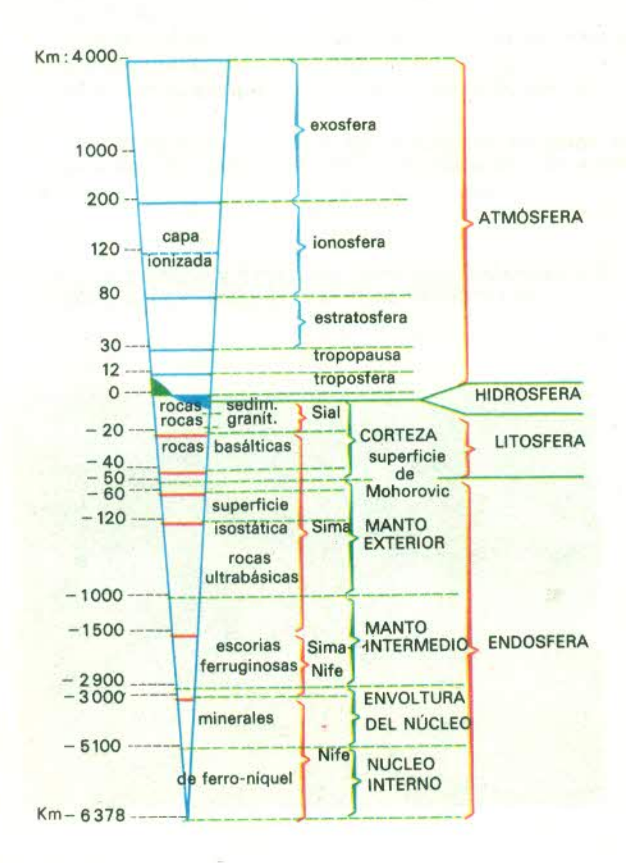
Geodinámica

Definición. — Geodinámica externa : Gliptogénesis. Litogénesis. — Geodinámica interna : Principio de isostasia. — Agentes geológicos internos.

Definición. — La *Geodinámica* es la parte de la Geología que estudia las fuerzas y los movimientos que modifican constantemente el aspecto de la Tierra en superficie y en profundidad. Si la corteza terrestre sólo estuviera sometida a la acción de los procesos de la *Geodinámica externa*, que tienden a nivelar montañas y depresiones, hace muchísimo tiempo que la superficie del planeta que habitamos sería una inmensa llanura y las cuencas marinas se habrían rellenado de sedimentos. Pero la existencia de otros fenómenos antagónicos, generados por las energías que posee el interior de la Tierra, y que acentúan las desigualdades de la corteza terrestre, han impedido que esto ocurra. El estudio de estas energías y de los efectos que producen constituyen el objeto de la *Geodinámica interna*.

Los fenómenos geodinámicos externos se pueden analizar por observación directa, al tener lugar en la superficie de la corteza terrestre, mientras que los internos requieren la interpretación de los efectos que tienen en los materiales de dicha corteza.

Antes de iniciar el estudio de las geodinámicas, conviene observar el gráfico siguiente sobre la distribución general de las capas de la Tierra y tener en cuenta las definiciones que se darán a continuación.



El *sial*, parte superficial y ligera de la corteza terrestre en la que predominan la sílice y el aluminio, tiene una densidad media de 2,7 y está compuesto esencialmente de granitos y granodioritas, es decir, de las rocas que más abundan en las tierras emergidas. Tiene un espesor de unos 50 kilómetros, aunque en algunos lugares, según investigaciones realizadas recientemente, no sobrepasa los veinte mil metros.

El *sima*, situado debajo del sial y con una densidad que oscila entre 2,8 y 3,6, está formado fundamentalmente por sílice, magnesia y óxidos de hierro y, según el principio de la isostasia, se supone que está más cercano a la superficie bajo los océanos que bajo los continentes.

El *nife*, materia pesada constituida en su mayor parte por níquel y hierro, constituye el núcleo o capa central del globo terrestre. El nombre de esta capa se deriva de las iniciales de los dos elementos que la forman.

GEODINÁMICA EXTERNA

La *Geodinámica externa* estudia los agentes geológicos que afectan a la corteza terrestre desde el exterior (atmósfera, vientos, aguas subterráneas y superficiales, mares, hielo glaciar y seres vivos). Éstos llevan a cabo su acción en las tres fases en que se divide el ciclo de los fenómenos geológicos : la *gliptogénesis* o destrucción del relieve por los agentes externos, que comprende la erosión, transporte y sedimentación; la *litogénesis* o formación de nuevos terrenos y rocas, que abarca la compactación de sedimentos, diagénesis y metamorfismo; y la *orogénesis* o constitución del nuevo relieve, que se manifiesta por movimientos epirogénicos y sísmicos, plegamientos y aparición de volcanes. Esta última fase es el objeto específico de la geodinámica interna.

Gliptogénesis. — Los agentes atmosféricos e hidrosféricos y los seres vivos intervienen de manera ininterrumpida en la acción gliptogénica para realizar la labor de erosión, transporte y sedimentación.

La *atmósfera* ejerce acciones mecánicas, térmicas, químicas y bióticas que determinan en las rocas efectos de meteorización, intensa erosión, transporte de detritus y formación de depósitos sedimentarios del suelo o cubierta térrea de la mayoría de las rocas corticales que constituyen el subsuelo.

La *hidrosfera*, constituida por las aguas continentales (ríos y torrentes), los glaciares polares o de las altas montañas, y las aguas subterráneas o marinas, modifica el relieve terrestre por erosión, transporte y sedimentación, de intensidad y efectos variables en función del tiempo.

Los *seres vivos* desempeñan un importante papel en este proceso por la *acción biótica*, que puede ser de carácter *químico* (descomposición, acidificación y nitrificación) o *mecánico* (por medio de roedores, múridos o lúmbricos y por las raíces que agrietan el terreno haciéndole perder cohesión).

Litogénesis. — A la acción litogénica se debe la formación de nuevas rocas y terrenos a partir de restos existentes, los cuales, a causa de la gliptogénesis, han

sido meteorizados, erosionados y transportados de un lugar a otro. Esta fase comprende la *sedimentación*, en la que aparecen las penillanuras y se rellenan los valles, la *diagénesis*, por la cual se forman nuevas rocas originadas por restos sedimentarios más antiguos, mediante la cementación y el efecto de la temperatura y la presión, y el *metamorfismo*, o proceso de transformación de las rocas en el interior de la Tierra, debido principalmente a la acción de la presión y de la temperatura.

GEODINÁMICA INTERNA

La *Geodinámica interna* es la rama de la Geología que estudia los agentes internos y los fenómenos originados por ellos. Estos últimos, al contrarrestar la acción de los agentes externos, hacen que la Tierra no sea una inmensa penillanura.

Principio de isostasia. — La corteza terrestre flota sobre una capa de magma que le permite alcanzar el equilibrio al hundirse si aumenta la carga y elevarse cuando ésta disminuye. Esta teoría, llamada de la *isostasia*, se funda en el hecho de que la corteza terrestre tiene una densidad mayor en el suelo submarino que en los continentes y conserva una estabilidad relativa a pesar de los cambios geológicos que experimenta desde su formación.

Agentes geológicos internos

Se pueden estudiar los *agentes geológicos internos* dividiéndolos en *movimientos orogénicos*, *movimientos epirogénicos*, *movimientos sísmicos* y *volcanismo*.

Los **movimientos orogénicos** consisten en *plegamientos* y *fracturas* causados por presiones tangenciales que se ejercieron en los estratos horizontales de rocas sedimentarias, depositadas generalmente en cuencas de sedimentación marina, y les dieron la estructura distorsionada que presentan actualmente. En estas zonas suele haber áreas débiles denominadas *geosinclinales*, generalmente localizadas entre macizos estables, que se hunden según se van depositando estratos de sedimentos procedentes de los *geoanticlinales*. Se da el nombre de *pliegues* a las arrugas producidas por compresión de los estratos, de *cadenas de plegamiento* a las elevaciones y plegados de los estratos que originan las cadenas montañosas o cordilleras, y de *fallas* a las fracturas de esos estratos.

Los **movimientos epirogénicos** son compensaciones isostáticas consistentes en una serie de levantamientos y hundimientos, que, a pesar de la lentitud con la cual se producen, son importantes en la dinámica total. Son particularmente visibles en los litorales costeros, por ocasionar el hundimiento o emersión de los mismos. Así, por ejemplo, las costas del Pacífico sufren un movimiento general de emersión que ha hecho aparecer numerosas islas de coral.

Los **movimientos sísmicos** corresponden a las sacudidas o trepidaciones más o menos bruscas del suelo, que parecen deberse al choque o deslizamiento de estratos producidos repentinamente en el interior de la litosfera. La *Sismología* estudia estos movimientos vibratorios de la corteza terrestre, cortos en duración pero a veces muy intensos, que se propagan en ondas concéntricas más o menos veloces, según la naturaleza mineral, a partir del foco sísmico o *hipocentro* de los terrenos afectados. El *epicentro*, situado en la vertical del hipocentro, es el punto de la superficie terrestre donde el terremoto ha sido de mayor amplitud.

El movimiento sísmico, originado en el hipocentro, da lugar a tres clases de ondas : *longitudinales, primarias* u *ondas «P»*, cuya velocidad es de unos 12 km/s; *transversales, secundarias* u *ondas «S»*, de unos 6 km/s; y *superficiales* u *ondas «L»*, cuya velocidad es de unos 3 km/s. El registro de todas éstas se hace mediante unos aparatos muy sensibles, llamados *sismógrafos*, que producen un gráfico ondulado *(sismograma)* en el que puede estudiarse la intensidad según la mayor o menor longitud de onda. Se utilizan como medida la *escala sismométrica* de Mercalli, que divide en doce grados los terremotos, desde los imperceptibles para la sensibilidad humana hasta los catastróficos, y la de Richter, que reparte en nueve grados la magnitud de los mismos.

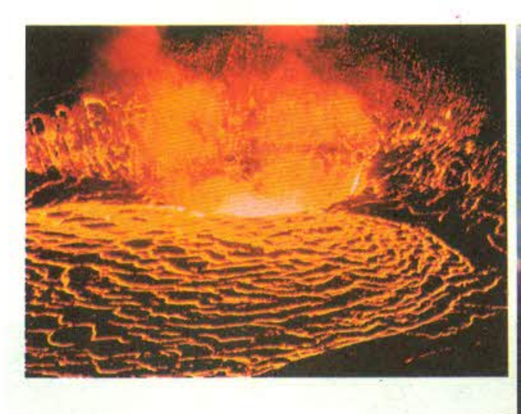
Los efectos de los terremotos dependen tanto de la intensidad absoluta como de la distancia al epicentro. En


Fot. J. Bottin

La columna de agua, en la erupción de un géiser, se eleva por los vapores calientes de las profundidades.

Emanaciones sulfurosas de gases y vapores o fumarolas en un cráter de la isla Vulcano (Eolias, Italia).


Fot. Yolka - Atlas-Photo





Fot. Sirman-Holmes Lebel, F.P.G. Holmes Lebel

Lago de lava en el cráter de un volcán en actividad.

Erupción del volcán Kilauea (Hawai) en 1959.

función del área afectada, los terremotos se dividen en *locales* y *generales*. Ambos tipos pueden también manifestarse en los fondos marinos, en cuyo caso se denominan *maremotos*, y producen, si son muy intensos, gigantescas olas llamadas *tsunamis*. Los locales se originan por la presión gaseosa existente antes de una erupción volcánica y los generales por fenómenos tectónicos, basados en la actividad orogénica localizada generalmente en áreas de inestabilidad y fractura.

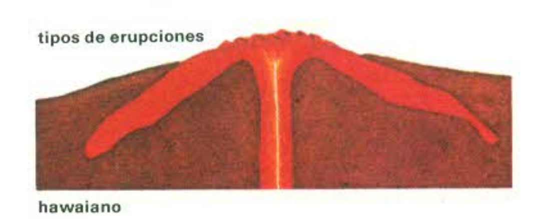
La Tierra, según la distribución geográfica de los terremotos, se divide en tres regiones : *sísmica*, donde se producen fuertes sacudidas, *penisísmica*, si en ella sólo se registran terremotos de poca intensidad, y *asísmica*, en la que nunca existe esta clase de movimientos. Pueden considerarse sísmicas, con arreglo a esta repartición, las costas circumpacíficas y la línea transversal, que se extiende desde el Mediterráneo hasta el Himalaya, y asísmicas Australia y Siberia.

El **volcanismo** es el estudio de los volcanes y de los fenómenos vinculados a ellos. Un *volcán* se forma cuando el magma del interior de la litosfera llega a la superficie terrestre, después de atravesar una zona de grietas y fracturas, y se solidifica cerca del lugar de emisión. Suele tener un *cono* o montaña en forma de embudo, surgido de manera intermitente e irregular, cuya parte superior está generalmente coronada por un *cráter* o terminación de la *chimenea*, grieta que comunica con el *foco volcánico*, es decir, con el lugar donde se encuentran las rocas fundidas o *magma*. Los volcanes se dividen en *activos*, cuando tienen erupciones, y *apagados*, en el caso contrario. Las erupciones se deben a los gases disueltos en el magma, que hacen que éste sea proyectado o expulsado al exterior. Los volcanes, en función del origen, presentación y emisión de magmas se clasifican en *hawaiano*, de lava fluida, *estromboliano*, de lava más espesa, *vulcaniano* o *vesubiano*, de lava ácida, y *peleano*, de lava muy viscosa. Existen, por consiguiente, dos tipos predominantes de lava : las *ácidas*, ricas en sílice, viscosas y de rápido endurecimiento, y las *básicas*, pobres en sílice y fluidas.

Pero además de lava, materia líquida, los volcanes arrojan *productos sólidos* (cenizas, gravillas o lapilli y bombas volcánicas), *gaseosos* (vapor de agua, ácido clorhídrico y sulfhídrico, hidrógeno, metano y nitrógeno) y, cuando entran en la «fase póstuma», emiten *fumarolas*, *solfataras*, *mofetas* y *géiseres*.

Existe una *geografía volcánica*, que prácticamente corresponde a la sísmica. Dos tercios de los volcanes están situados alrededor del Pacífico, hallándose en actividad un 62 por ciento (45 en Asia y 17 en América).

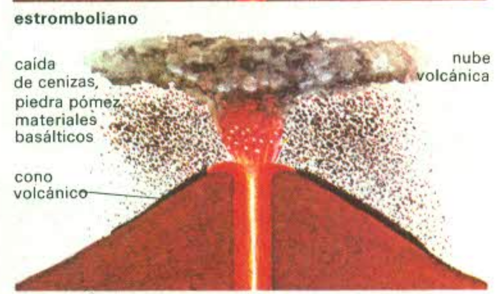
tipos de erupciones



hawaiano



estromboliano



vulcaniano o vesubiano



peleano

VOLCÁN

Geología histórica

Procesos geológicos. Estratigrafía y Paleontología. — Divisiones crono-estratigráficas. — Era Arcaica o Arqueozoica. — Era Primaria o Paleozoica : Paleogeografía. Caracteres paleontológicos. — Era Secundaria o Mesozoica : Paleogeografía. Caracteres paleontológicos. — Era Terciaria o Cenozoica : Paleogeografía. Caracteres paleontológicos. — Era Cuaternaria o Neozoica : Paleogeografía. Caracteres paleontológicos. El hombre fósil.

La *Geología histórica* tiene como finalidad la interpretación de los datos petrográficos, estratigráficos y paleontológicos relativos a la historia de la Tierra. Gracias a esta ciencia se pueden conocer el pasado geológico, la Paleogeografía y los cambios climáticos de nuestro planeta.

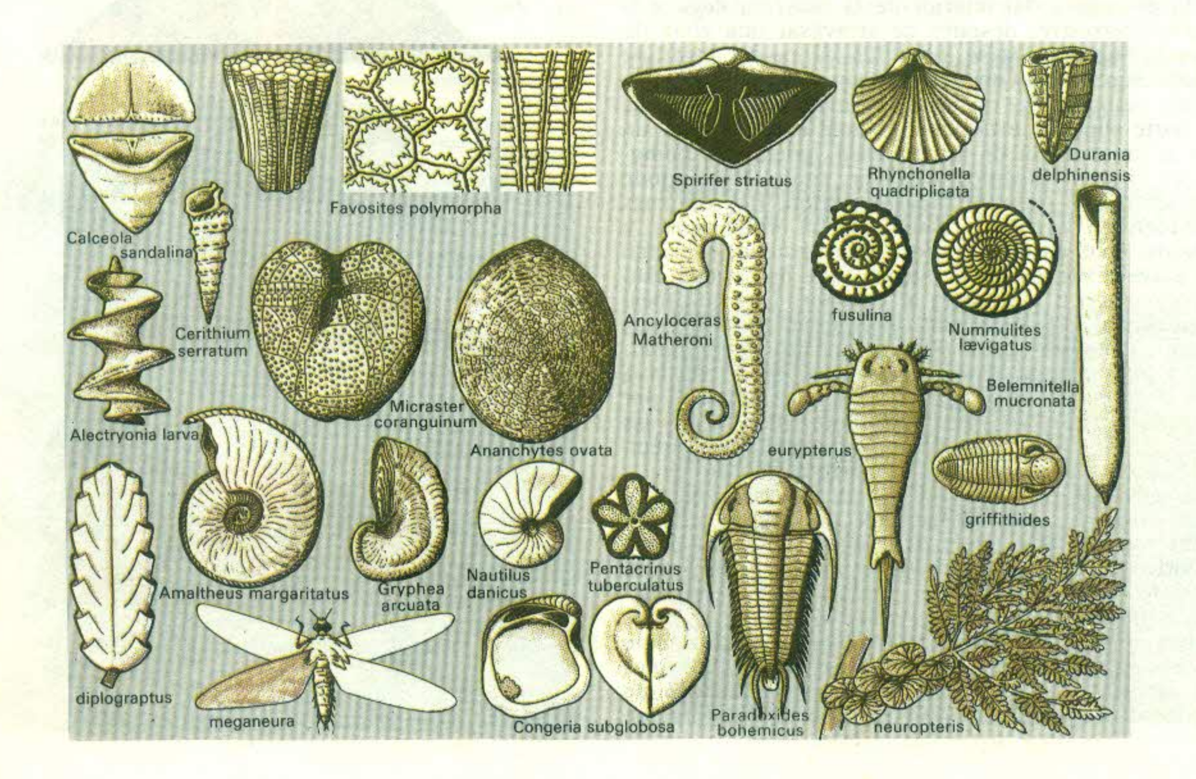
Procesos geológicos. — Todas las rocas que forman los continentes, así como la disposición en estratos y los restos fósiles que a veces se conservan en éstos, constituyen valiosos documentos del pasado de la Tierra que el geólogo es capaz de descifrar. El principio básico para interpretarlos es el del *actualismo*, según el cual los procesos geológicos se han desarrollado siempre del mismo modo que lo van haciendo en la actualidad. En Geología histórica es preciso establecer un orden en la sucesión de los acontecimientos, para conocer de este modo la secuencia real, y la *cronología relativa* lo determina teniendo en cuenta la superposición de los estratos y dando por sentado el hecho de que todo proceso geológico afectó sólo a los materiales formados anteriormente y no a los que lo hicieron con posterioridad.

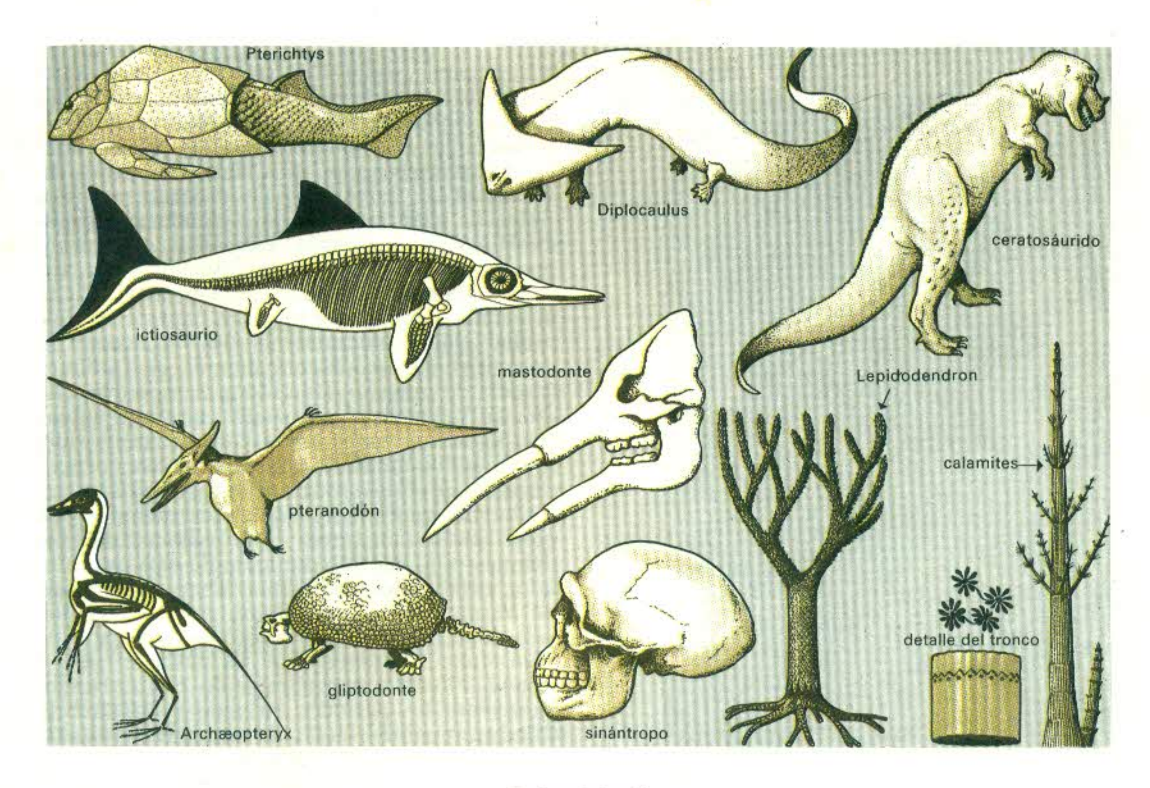
En los albores de esta ciencia, se quiso calcular el tiempo transcurrido desde la formación de la corteza terrestre apoyándose en lo que tardaba en constituirse



Fósil de un nautilo, cefalópodo tetrabranquio muy extendido en la Era Primaria.

Paleontología





Paleontología

un estrato. Pero, actualmente, los geólogos han abandonado dicho método, por la inexactitud que éste supone, y han buscado soluciones que ofrezcan mayores garantías. Así, para las rocas y estratos primitivos, se utiliza la propiedad de desintegración de los elementos isótopos radiactivos, como el uranio, rubidio y estroncio, o el plomo radiactivo, en el caso de tiempos remotos, y sobre todo el carbono 14 para los más recientes.

Estratigrafía y Paleontología. — Con estos métodos, interpretándolos adecuadamente y verificando el contraste de los mismos, se ha conseguido establecer una cronología muy útil para estudiar mejor la localización y edad de las rocas sedimentarias, objeto de la *Estratigrafía*, ciencia que describe los estratos y la manera en que éstos se disponen en series locales. Se llama *facies estratigráfica* a la estructura propia de una roca (caracteres litológicos) y a los fósiles contenidos en ella (caracteres paleontológicos). Existen *facies lacustre, fluvial, glaciar, batial,* es decir, correspondiente a profundidades que van de 200 a 2 000 ó 3 000 m, etc. La Estratigrafía reviste considerable importancia porque en las rocas estratiformes se encuentran los yacimientos de combustibles orgánicos (petróleo y carbón), los de gran número de minerales radiactivos o metálicos y los mayores depósitos de agua subterránea.

Al examinar los estratos, se deben tener en cuenta las discordancias angulares, los plegamientos, las regresiones y transgresiones marinas, la edad absoluta y relativa o el espesor y los fósiles que encierran, cuyo estudio incumbe a la *Paleontología*, ciencia que trata de los restos de animales o vegetales que poblaron la Tierra en épocas pretéritas, conservados en los sedimentos y asociados ahora a las rocas sedimentarias.

Actualmente cobra un auge creciente la *Micropaleontología*, que efectúa investigaciones sobre los fósiles y fragmentos susceptibles de observación microscópica.

DIVISIONES CRONO-ESTRATIGRÁFICAS

Como las series estratigráficas que se pueden observar son generalmente fragmentarias, se asocian con otras para lograr la llamada *columna estratigráfica completa*. Ésta permite realizar, según criterios diferentes, divisiones que abarcan conjuntos de estratos relacionados por sus características petrográficas. El geólogo italiano Giovanni ARDUINO (1714-1795) fue el primero en dividir la historia de la Tierra en cuatro órdenes de terrenos : *primarios, secundarios, terciarios* y *cuaternarios*, que fueron subdivididos más tarde en *sistemas*, y luego en *series, pisos* y *tramos*, hasta llegar a la *zona*, estrato geológico más fino.

Se establece una correspondencia entre las divisiones cronológicas y estratigráficas de la forma siguiente :

CRONOLÓGICAS	ESTRATIGRÁFICAS
Era	Grupo
Período	Sistema
Época	Serie
Edad	Pisos y tramos
Sécula	Zona

Así, la historia de la Tierra queda encuadrada, en correspondencia con la series estratigráficas, en cinco grandes grupos perfectamente diferenciados, que corresponden a otros cinco espacios respectivos de tiempo, llamados *eras*. Éstas son *Arcaica* o *Arqueozoica, Primaria* o *Paleozoica, Secundaria* o *Mesozoica, Terciaria* o *Cenozoica* y *Cuaternaria* o *Neozoica*.

En el cuadro que sigue se representan de forma esquemática las eras o grupos y las subdivisiones de éstos en sistemas o períodos, así como las más importantes series o épocas.

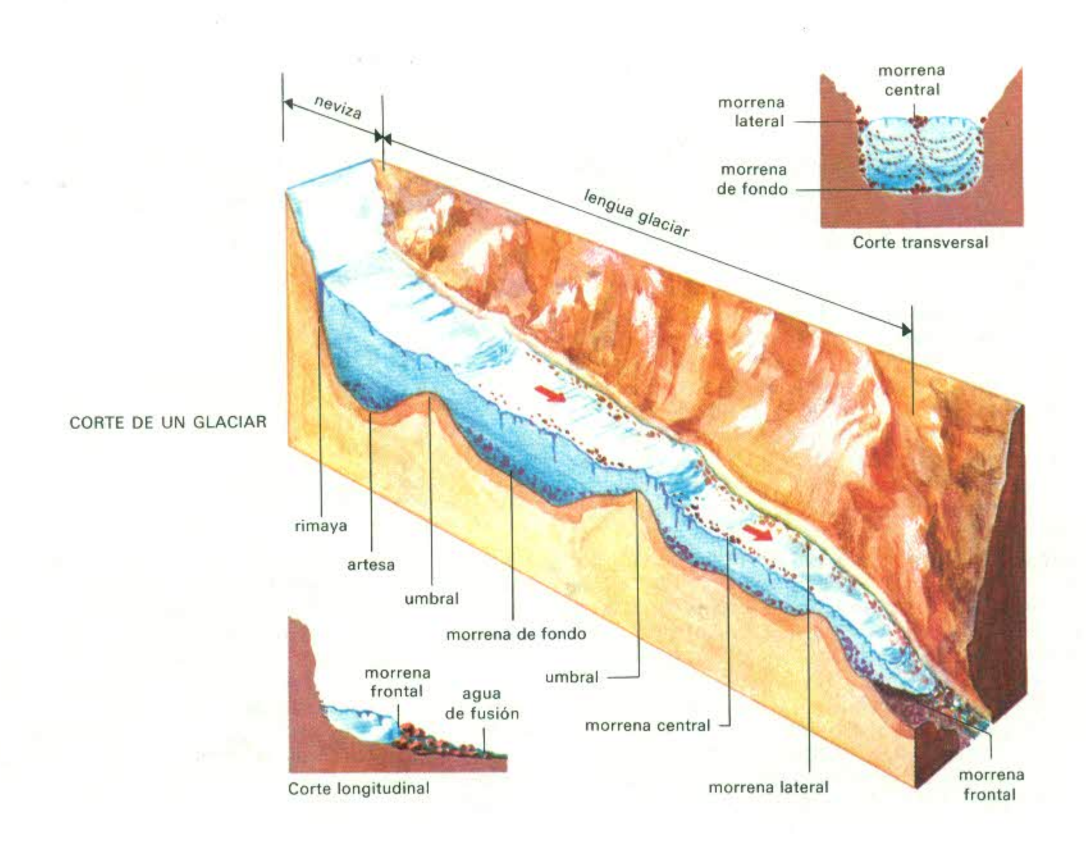
División crono-estratigráfica

ERAS Y GRUPOS	SISTEMAS Y PERÍODOS	SERIES Y ÉPOCAS
Arcaica o Arqueozoica	Azoico Arcaico Precámbrico	
Primaria o Paleozoica	Cámbrico Ordovícico Silúrico Devónico Carbonífero Pérmico	
Secundaria o Mesozoica	Triásico Jurásico Cretácico	
Terciaria o Cenozoica	Paleógeno	Paleoceno Eoceno Oligoceno
	Neógeno	Mioceno Plioceno
Cuaternaria o Neozoica	Pleistoceno	Inferior Medio Superior
	Holoceno	Actual

Era Arcaica o Arqueozoica

Antes de iniciarse los procesos geológicos propiamente dichos, hubo un período de tiempo, de quizá varios miles de millones de años, en que la Tierra pasó de una primera etapa incandescente a otra en la que se formaron en su superficie escorias de rocas ígneas. Éstas se irían enfriando y uniendo gradualmente hasta constituir una corteza elemental, también con altas temperaturas. En tan larga fase, los procesos de fusión y enfriamiento de los materiales magmáticos debieron originar la emisión de ingentes cantidades de gases, que probablemente crearon una atmósfera densa y abundante en nitrógeno, amoniaco y dióxido de carbono, pero que carecía de oxígeno. Durante el tiempo transcurrido hasta que la Tierra llegó al estado que tiene actualmente, se fueron acumulando, según parece, grandes depósitos de rocas sedimentarias, sobre todo en forma de *gneis*. Algunas de estas rocas primitivas afloran hoy superficialmente y permiten calcular por métodos radiactivos la edad que tienen (unos 3700 millones de años), lo que demuestra la enorme duración de esta era, que se acerca a los 4000 millones de años. Todo este tiempo se divide en varios *ciclos orogénicos*, no establecidos aún con seguridad, aunque se conoce con certeza el *plegamiento Huroniano* (cordillera que va desde el lago Hurón, en Canadá, hasta Siberia, pasando por Escandinavia) surgido entre los períodos Arcaico y Precámbrico, encontrándose también restos de antiguas morrenas que prueban la existencia de glaciaciones.

Esta era, en la que predominan rocas eruptivo-metamórficas (granitos, gneis y micaquistos), tiene los llamados *escudos*, de amplia distribución continental.



CORTE DE UN GLACIAR

La *aparición de la vida* parece situarse en los principios del período Arcaico y se debe probablemente a la síntesis inicial de azúcares, aminoácidos, urea, bases púricas, etc., compuestos orgánicos imprescindibles para la formación de los primeros organismos. Se produjo gracias a la existencia de materias primas, abundantes lo mismo en la atmósfera que en las aguas de los mares paleozoicos, y a la energía procedente de las radiaciones ultravioleta intensas y de las descargas eléctricas. Se tienen muy pocos conocimientos sobre aquellos primitivos seres, que eran quizá anaerobios y anoxobióticos, es decir, que no necesitaban oxígeno para vivir. Ya no se pone en duda la existencia de los mismos, pese a no hallarse de ellos ningún vestigio. En cambio, se encuentran *fósiles*, el más antiguo de los cuales es un alga calcárea hallada en las calizas arcaicas de Rodesia (de 2 700 millones de años), y hay otros muy posteriores de protozoos de esqueleto silíceo (radiolarios y flagelados, que son en realidad microfósiles) y ciertas huellas que pertenecen probablemente a gusanos. Quizá la escasez de restos fósiles se deba a la acción interna del metamorfismo de los estratos arcaicos, que los ha ido destruyendo progresivamente en el transcurso de los años.

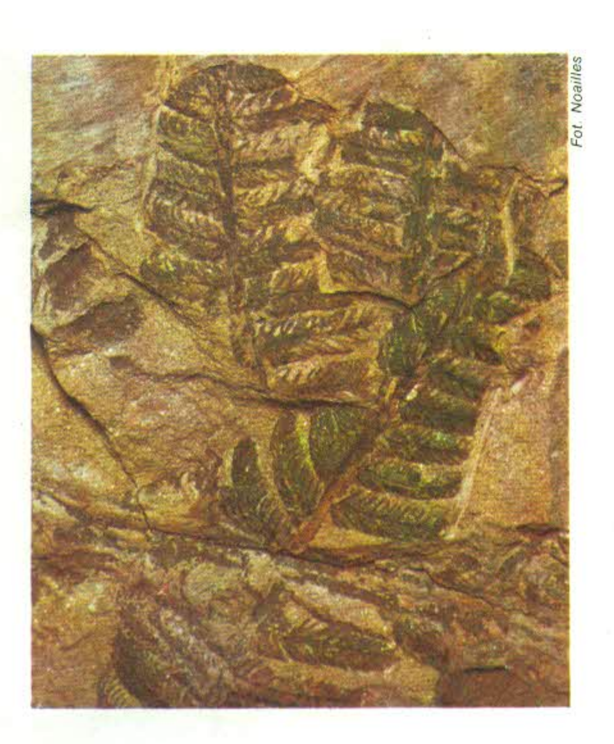
Era Primaria o Paleozoica

De la Era Primaria, que tiene una duración aproximada de 375 millones de años, abundan sedimentos de facies marinas, con algún metamorfismo, y se han encontrado también importantes calizas organógenas de tipo conchífero y recifal. Algunas facies evolucionaron de marinas a continentales en el Devónico y otras adquirieron un mayor contenido en carbono al final del Carbonífero. Esta era se divide en períodos estratigráficos llamados Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero y Pérmico, entre los cuales se sitúan dos importantes *ciclos orogénicos;* el *Caledoniano*, en el Ordovícico-Silúrico, seguido de otro, el *Herciniano*, en el período Carbonífero, mucho más difundido e importante. Ambos plegamientos determinaron una intensa actividad volcánica y profundas alteraciones en la distribución de los continentes. Restos actuales de las cordilleras hercinianas se hallan en los Vosgos, la Selva Negra, el Macizo Central francés y la Meseta española.

Paleogeografía. — El globo terráqueo estaba, al parecer, constituido por los continentes *Noratlántico*, que comprendía gran parte de América del Norte, Groenlandia y Europa Central y Septentrional, el llamado de *Gondwana*, integrado por Brasil, África, Arabia, Indostán y Australia, y el *Chinosiberiano* o de *Angara*.

Los continentes de Angara y Noratlántico estaban separados por el *mar de Tetis*, inmenso geosinclinal, persistente hasta finales del Mesozoico, restos del cual constituyen el Mediterráneo actual.

Caracteres paleontológicos. — De la flora de la Era Primaria sólo quedan restos fósiles de algas calcáreas de los períodos Cámbrico y Ordovícico, pero a finales del Silúrico empiezan a invadir los continentes vegetales aéreos llamados plantas *psilofitales*, de caracteres ambiguos entre las algas briofitas y pteridofitas. En el Devónico surgen las primitivas criptógamas vasculares y en el Carbonífero existe abundante vegetación, base de los actuales depósitos de antracita y hulla, compuesta de enormes licopodiales (sigillarias y *Lepidodendron*), equisetales, helechos arborescentes y pteridospermas primitivas, plantas con semillas similares a los helechos. Aparecen más tarde las espermafitas (cordaitales) y, a finales del Pérmico, las coníferas.



Fósil de un helecho arborescente de la Era Primaria.

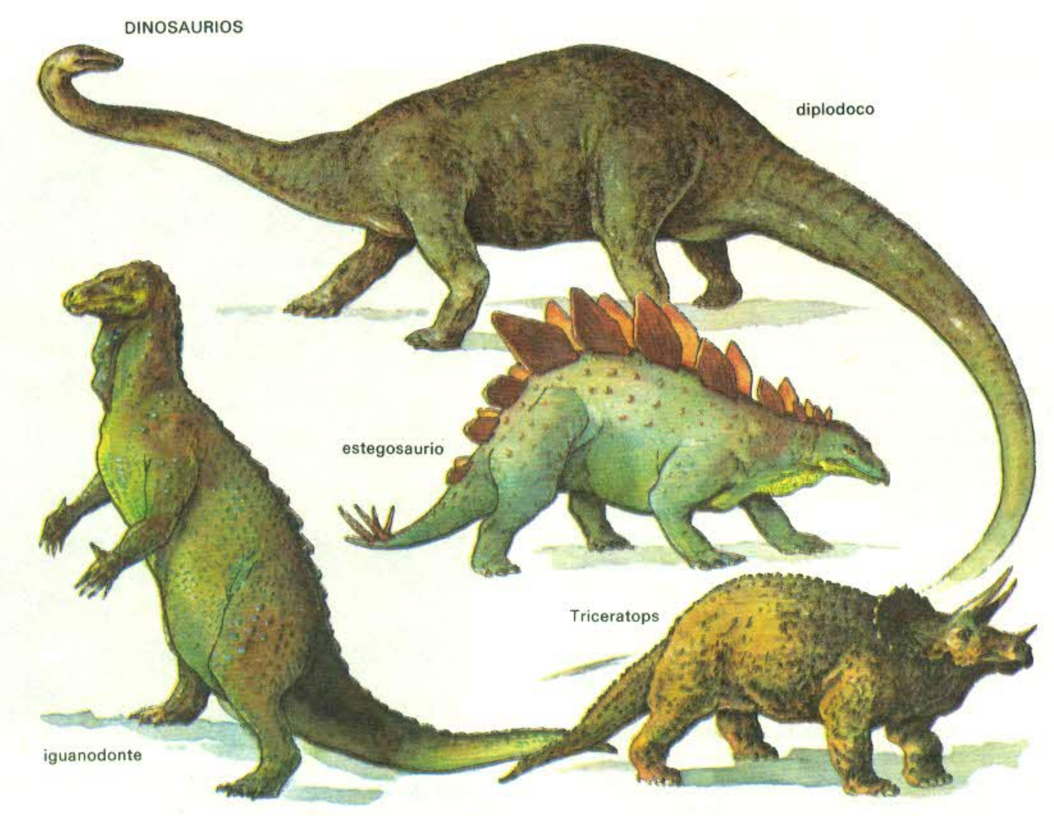
Simultáneamente a esta producción del mundo vegetal, en los mares paleozoicos vive una fauna variada de invertebrados, según se deduce de los muchos fósiles asociados a las rocas de la era mencionada, como los trilobites, braquiópodos, nautiloideos (cefalópodos), cistídeos y crinoides (equinodermos), coralarios, gigantostráceos y briozoos. Aunque muchos de éstos desaparecieron, algunos evolucionaron y existen todavía. Al acabar la Era Primaria, los vertebrados poblaban los continentes y habían conseguido un desarrollo progresivo muy notable.

Era Secundaria o Mesozoica

De la Era Secundaria, que se extiende aproximadamente durante 160 millones de años, o sea a lo largo de un período mucho más corto que el Paleozoico, abundan los sedimentos marinos y las facies continentales de areniscas y conglomerados, con depósitos cretácicos de lignitos, explotables actualmente, y numerosos yacimientos petrolíferos.

Se divide el Mesozoico en los períodos Triásico, Jurásico y Cretácico, durante los cuales se registraron movimientos orogénicos escasos en Europa, pero notables en América, donde se elevó gran parte de las cordilleras de la costa del Pacífico, en Norteamérica, y de los Andes, en Sudamérica. Hubo una gran actividad epirogénica y volcánica con una emisión magmática importante que originó la aparición de mantos gigantescos como el del Decán y el del Paraná-Brasil.

Paleogeografía. — Durante el Jurásico se fragmentó el continente de Gondwana, iniciándose la formación del Atlántico meridional y del océano Índico. Al mismo tiempo una transgresión marina convirtió Europa en un archipiélago y emergieron principalmente el Jura francés, las Islas Británicas y el Macizo Ibérico.



Se desconoce el verdadero color de los dinosaurios

Caracteres paleontológicos. — La flora de esta era conoce la progresiva regresión de las criptógamas y el auge simultáneo de las gimnospermas (coníferas cretácicas), que presentan anillos anuales de crecimiento y se ven suplantadas, en el Cretácico Superior, por las plantas angiospermas. Surgen también las dicotiledóneas y, más tarde, las monocotiledóneas.

La fauna contrasta grandemente con la época anterior; muchos seres se ven sustituidos por otros, que son a veces simples formas evolutivas adaptadas al nuevo clima y circunstancias. Así, desaparecen los trilobites y aumentan, en cambio, los crustáceos decápodos. En términos generales, puede decirse que en el Mesozoico predominan los moluscos (ammonites, belenites y algunos gasterópodos pelecípodos). No obstante, la característica esencial de esta era es el desarrollo alcanzado por los vertebrados (peces, anfibios y, sobre todo, reptiles). Desde el Cretácico existían peces teleósteos, a los cuales se agregaron luego los ganoideos y holósteos. En los anfibios, se operó una evolución, que partió de los gigantescos estegocéfalos del Triásico para llegar a las ranas, que aparecieron en el Jurásico. Los cuantiosos reptiles del Mesozoico empezaron a propagarse en el Permo-Triásico con ejemplares acuáticos, como los ictiosaurios y los plesiosaurios, y los quelonios, saurios, crocodilios y ofidios iniciaron una evolución.

Merecen mencionarse, entre los animales terrestres, los dinosaurios, con señaladas tendencias al bipedismo, saurópodos (herbívoros), terópodos (carnívoros), iguanodontes y ceratópsidos, y, entre los aéreos, los pterosaurios, de alas membranosas, y el gigantesco pteranodón. Pero la inmensa mayoría de los reptiles desaparecieron al final de la Era Mesozoica por una serie de causas climáticas, funcionales y adaptativas, y surgieron entonces los primeros mamíferos, sencillos e implacentados inicialmente, como lo acreditan los fósiles encontrados. A fines del Cretácico ya existían auténticos placentados (insectívoros), pero eran muy primitivos todavía.

Era Terciaria o Cenozoica

La Era Terciaria constituye un período relativamente corto y reciente, que empezó hace 72 millones de años y se terminó probablemente hace un millón de años. El término Cenozoico significa «animales recientes» y alude especialmente a los mamíferos, por lo que esta época se denomina también con este último nombre. Se divide en cinco períodos : Paleoceno, Eoceno, Oligoceno, Mioceno y Plioceno. Los tres primeros y los dos últimos constituyen el Paleógeno y el Neógeno, respectivamente.

Paleogeografía. — Las sucesivas fases orogénicas provocaron importantes cambios paleogeográficos y nacieron entonces las principales cadenas montañosas actuales. Esos plegamientos se iniciaron a finales del Cretácico y principios del Eoceno a lo largo de la costa americana del Pacífico (Montañas Rocosas y Cordillera de los Andes). En el continente eurasiático, los sedimentos del geosinclinal del Terciario quedaron comprimidos y se produjo por lo tanto el plegamiento *Alpino*, que se extiende desde los Pirineos hasta el Himalaya. Esta orogenia alpina, particularmente activa entre el Oligoceno y el Mioceno, se tradujo en un relieve muy convulsionado. Al llegar el Plioceno, se produjeron grandes fracturas y epirogenias, acompañadas de intenso

volcanismo, y la Paleogeografía sufrió, al concluir el Terciario, una serie de transformaciones que dejaron los continentes tal como se encuentran en la actualidad. Así Madagascar se separó de África, la India se unió con Eurasia, el Estrecho de Gibraltar existió por el hundimiento de la cadena Atlas-Bética y se fraccionó América en dos subcontinentes. El clima se enfrió progresivamente a lo largo de todo el Terciario, para llegar a las épocas glaciares del Cuaternario, y puede decirse que, ya en el Mioceno, era parecido al actual y que las diferencias estacionales entre el invierno y el verano se acentuaron notablemente.

Caracteres paleontológicos. — En la flora del Eoceno se encuentran ya árboles caducifolios, pero las plantas más abundantes son las fanerógamas, sin que falten por ello las coníferas.

La flora subtropical, origen de los actuales yacimientos de lignito, se ve sustituida por otra más adaptada a los cambios estacionales y los prados ricos en gramíneas, base de la alimentación y evolución de los animales ungulados, aumentan progresivamente.

La fauna es completamente diferente de la mesozoica y hay muchos más mamíferos placentados, otras aves y peces teleósteos. Existen también invertebrados, pero los que tienen una evolución más profunda son los mamíferos, que aparecen en el Eoceno y se transforman a lo largo de todo el Cenozoico hasta llegar a los actuales órdenes, como lo demuestran los fósiles de ungulados (artro y perisodáctilos), carnívoros y proboscídeos, de algunos roedores e insectívoros y, en América del Sur, de marsupiales y desdentados.

La filogenia de los homínidos puede situarse con certeza en el Terciario. Se ha encontrado un número reducido de fósiles pertenecientes a antropomorfos oligocénicos, así como un ejemplar del *Oreopithecus*, primate del Mioceno Superior muy parecido a los homínidos. Esto prueba que, hace unos doce millones de años, los primates se habían separado ya de los antropomorfos.

En el Terciario tienen lugar las *migraciones*, fase decisiva en la evolución de los mamíferos, gracias a las cuales algunos ungulados, como el caballo, autóctono de Asia Central, pasaron al continente americano a través del Estrecho de Bering, para regresar luego a su lugar de origen, y ciertos proboscídeos norteafricanos se desarrollaron también en aquella parte del mundo.

Era Cuaternaria o Neozoica

La duración del Cuaternario o Neozoico apenas llega a los dos millones de años, razón por la cual algunos geólogos clasifican esta época como un simple período del Terciario, pero el cambio climático, que condujo a las glaciaciones, y la aparición del hombre sobre el Planeta justifican plenamente el comienzo de una nueva era. Ésta se subdivide en dos períodos, Pleistoceno y Holoceno, es decir, anterior y posterior a las glaciaciones.

Paleogeografía. — A lo largo del Neozoico se han venido produciendo notables variaciones en el campo de la Paleogeografía. La temperatura continuó descendiendo y condujo a la glaciación durante espacios de tiempo cortos y repetidos. En el hemisferio norte de Europa pueden citarse las glaciaciones llamadas de Günz, en el Pleistoceno Inferior, y las de Mindel y Riss, separadas por períodos interglaciares, durante el Pleistoceno Medio. Ya en el Pleistoceno Superior, tuvo lugar la de Würm, seguida del período interglaciar denominado de Ems. Se han querido explicar las causas de las glaciaciones por las influencias que ejercieron las variaciones del fotoperíodo solar, que llevaron consigo un descenso de temperatura en nuestro planeta y la inclinación del eje rotatorio terrestre en relación con la eclíptica.

Caracteres paleontológicos. — Las variaciones climáticas se conocen gracias al estudio de las turberas, que ha permitido seguir la trayectoria cíclica vegetal entre los períodos fríos, con prados herbáceos, y los interglaciares, más templados, en los que predominaban los bosques de coníferas. El clima ha influido también en la evolución de los animales, especialmente en lo que se refiere a la defensa contra el frío, y la epidermis de éstos es lanuda o carente de lana, según la térmica ambiental, en rinocerontes y mamuts. Los hielos siberianos han conservado muchos grandes mamíferos de esas épocas, que ya no existen actualmente, como es el caso de los rinocerontes lanudos, los gigantescos elefantes, de los cuales se han encontrado tres especies europeas fósiles, y los osos de las cavernas. El hombre se dedicó a su caza para proveerse de alimentos y de pieles que le amparasen del frío.

El hombre fósil. — Los restos fósiles de los homínidos permiten esbozar la filogenia humana y sus relaciones con los demás primates. Sin embargo, al no poseer esqueletos completos, resulta aventurado afirmar si se trata de auténticos hombres o simplemente de primates evolucionados. Actualmente se admite en general que los homínidos más primitivos proceden del Pleistoceno Inferior, como es el caso del *Australopithecus*, descubierto en 1924 en África austral y que era un bípedo con una capacidad craneana de 600 centímetros cúbicos, aunque esto no permita asegurar a ciencia cierta que fuese un hombre. Más interesantes aún parecen ser los restos del *Pithecanthropus erectus*, encontrados en Java y correspondientes a la época Mindel, que se consideran pertenecientes a un individuo del género *homo*. De todas maneras, éstos, e incluso otros hallazgos fragmentarios, no permiten establecer la filogenia humana con el rigor científico requerido y se cree que el *Australopithecus* nunca llegó a traspasar el umbral humano. Los *Oreopithecus* del Mioceno Superior demuestran, sin embargo, irrefutablemente la existencia independiente de los homínidos, separados ya en esa época de los antropomorfos, y, para buscar el entronque con los demás primates, es preciso remontarse por consiguiente hasta el Oligoceno. El descubrimiento de los *neandertalenses*, de aspecto claramente humano y muy difundidos durante la última época glacial, permite decir que se está ya en presencia de unos seres dotados de inteligencia y reflexión. Estos hombres, que no eran de estatura muy alta (alrededor de 1,60 m), tenían un cráneo voluminoso, un esqueleto fuerte y un rostro perfectamente desarrollado, aunque de aspecto algo bestial a causa de prominentes arcos superciliares, inician una cultura muy peculiar propia del período de la Prehistoria.

Bóveda craneana del hombre de Neandertal.



Fot. Larousse

Biología

Definición. — Historia : Antigüedad. Época del Renacimiento. Edad Moderna. Edad Contemporánea.

Definición. — La *Biología,* término que se deriva etimológicamente del griego (*bios,* vida, y *logos,* estudio), puede definirse como la ciencia de la vida o de los seres vivos. Al tener la palabra *vida* tan amplio significado, se comprende fácilmente que el contenido de la Biología puede abordarse desde múltiples enfoques, cada uno de los cuales constituye una ciencia especial.

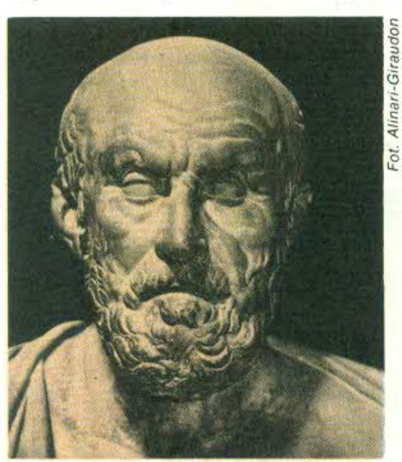
Así cabe mencionar la *Citología,* que estudia las células; la *Histología,* que trata de los tejidos; la *Bioquímica,* que efectúa investigaciones sobre los compuestos químicos constituyentes de la materia viva; la *Taxonomía,* que agrupa a los seres vivos y los clasifica; la *Fisiología,* que se centra en los órganos y las funciones de éstos; y la *Ecología,* que analiza las relaciones de los organismos con el medio en que viven. A todas estas ciencias, directamente relacionadas con el estudio de la vida en general, se añaden otras, también biológicas, que centran su estudio en los seres vegetales *(Botánica)* o únicamente en los animales *(Zoología).* El campo biológico es inmenso y de importancia fundamental. Baste considerar que la Biología aplicada abarca ciencias y técnicas como la Medicina, Veterinaria, Farmacia, Ingeniería agronómica y forestal, etc.

No corresponde al objetivo de esta obra catalogar las múltiples derivaciones y los particularismos de la Biología, sino dar una visión de conjunto de la misma en su aspecto general y, para ello, sólo se considerará una serie de niveles que va desde el más inferior (moléculas y átomos) hasta las etapas evolutivas que son la culminación del proceso biológico.

HISTORIA

En esta breve reseña del desarrollo histórico de la Biología no se seguirá la evolución particular de cada una de las ciencias que la componen, sino que sólo se trazará a grandes rasgos la evolución general, al mismo tiempo que se señalarán cronológicamente los científicos e investigadores que más contribuyeron a enriquecer este amplio campo del saber.

Antigüedad. — El verdadero fundador de la Biología fue **Hipócrates** (hacia 460-377 a. de J. C.), creador de una escuela en la que se estudiaron los problemas de la reproducción y de la herencia y autor, con otros médicos de la época, del *Corpus hippocraticum.* **Aristóteles** (384-322) continuó la labor de Hipócrates y dedicó la mayor parte de sus desvelos a la Zoología. Es admirable el conocimiento que tenía del mundo animal, particularmente de los mamíferos y de los insectos. Llegó incluso a admitir la existencia de transiciones insensibles entre los seres vivos, por lo que se le puede considerar como un precursor del transformismo. Las obras más importantes que escribió fueron *Historia de los animales* y *Tratado de la generación.* Muy versado en Botánica fue TEOFRASTO (¿372?-¿287?), discípulo predilecto de Aristóteles, autor de una clasificación de los vegetales en la que supo hacer la distinción entre plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas. Al célebre médico romano Claudio **Galeno** (¿131?-¿201?) se deben grandes descubrimientos relativos a la Anatomía, que expuso en los libros *Arte Médica* y *Tratado de disección.*



Fot. Alinari-Giraudon

Hipócrates, verdadero fundador de la Biología.

Época del Renacimiento. — Tras unos siglos medievales en los que apenas se cultivó la ciencia, con la excepción en España de algunos sabios árabes y judíos, al llegar el Renacimiento surgió un nuevo interés por la obra de la naturaleza al que no fueron ajenos artistas de la importancia de Miguel Ángel o Leonardo de Vinci. En Anatomía sobresalieron los italianos Andrea VESALIO (1514-1564) y Bartolomeo EUSTACHI (1500-1574), que dio nombre a varios órganos. En Fisiología la figura más destacada fue el inglés William HARVEY (1578-1657), descubridor de la circulación de la sangre, fenómeno que ya había sido observado por el español Miguel SERVET (1511-1553), víctima de la intransigencia religiosa de Calvino. Los franceses Pierre BELON (1517-1564) y Guillaume RONDELET (1507-1566) estudiaron los peces, el suizo Conrad GESNER (1516-1565) se interesó esencialmente por los cuadrúpedos, aves y serpientes, el italiano Andrea CESALPINO (1519-1603) clasificó las plantas por sus flores y frutos y el botánico suizo Gaspard BAUHIN (1550-1624) llegó a catalogar unas seis mil plantas.

El descubrimiento de América brindó una espléndida oportunidad a los sabios e investigadores. Entre los muchos que se trasladaron a las nuevas tierras para estudiar las especies continentales se puede citar a Diego ÁLVAREZ CHANCA, compañero de Colón, Gonzalo FERNÁNDEZ DE OVIEDO (1478-1557), autor de una *Historia Natural de las Indias,* fray Bernardino de SAHAGÚN (¿1500?-1590), al médico Francisco HERNÁNDEZ (¿1517?-1587) y al jesuita José de ACOSTA (1539-1600), a quien se debe una *Historia natural y moral de las Indias,* en la que el misionero y cronista trata de ordenar científicamente a los seres vivos americanos.

Edad Moderna. — La gran figura en el campo de la Botánica fue el sueco Carl von **Linneo** (1707-1778), que clasificó las plantas mediante la nomenclatura binomia, aplicable también al reino animal. La doctrina defendida por él fue adoptada por los botánicos españoles, que efectuaron una gran labor investigadora en el continente americano, y entre ellos son dignos de mencionarse José Celestino MUTIS (1732-1808), José Mariano MOCIÑO (1758-1820), Mariano LAGASCA (1776-1839), Antonio José CAVANILLES (1745-1804) e Hipólito RUIZ (1754-1816).

El microscopio, descubierto hacia 1600, abrió un nuevo campo a la Biología, en el que brillaron el italiano

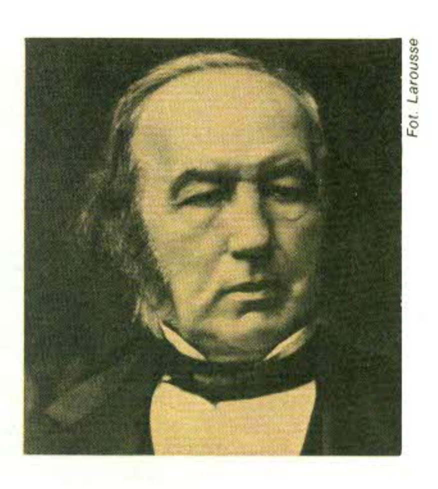
Marcello MALPIGHI (1628-1694), descubridor de los vasos capilares, los ingleses Robert HOOKE (1635-1703) y Nehemiah GREW (1641-1712), que investigaron sobre las células de los organismos, y los holandeses Anton van LEEUWENHOEK (1632-1723), que estudió el mundo de los microbios e infusorios, y Jan SWAMMERDAM (1637-1680), autor de una interesante *Biblia de la Naturaleza.* Surgieron polémicas acerca de la generación espontánea entre los italianos Francesco REDI (1626-1698) y Lazzaro SPALLANZANI (1729-1799) y el francés RÉAUMUR (1683-1757). También hubo discusiones entre aquellos que consideraban que el ser está ya completamente constituido dentro del huevo *(preformacionismo)* y los que pretendían que evoluciona a partir del germen *(epigenesismo).* A la primera escuela pertenecieron los suizos Charles BONNET (1720-1793) y Albrecht von HALLER (1708-1777), mientras que el alemán Caspar Friedrich WOLFF (1733-1794) fue el epigenesista más conocido. La clasificación efectuó también grandes progresos con los franceses BUFFON (1707-1788), Bernard de JUSSIEU (1699-1777), Antoine-Laurent de JUSSIEU (1748-1836), sobrino del anterior, que llevó a cabo la definición de las familias vegetales, Louis DAUBENTON (1716-1800), que clasificó el reino animal en órdenes y clases, y Georges **Cuvier** (1769-1832), creador de la Paleontología y de la Anatomía comparada, a quien se deben la ley de subordinación de los órganos y la de correlación de las formas, gracias a las cuales se pudo determinar la existencia de especies desaparecidas y reconstituir algunos mamíferos fósiles.

Edad Contemporánea. — Desde comienzos del siglo XIX, los descubrimientos biológicos fueron numerosos. El francés Claude **Bernard** (1813-1878) está considerado como el fundador de la Biología general y la doctrina que elaboró figura en las *Lecciones sobre los fenómenos de la vida comunes a los animales y los vegetales.*

En Citología se destacaron el escocés Robert BROWN (1773-1858), descubridor del núcleo de la célula; el francés Félix DUJARDIN (1801-1860), que estudió la sustancia que rodea dicho núcleo; los alemanes Matthias Jakob SCHLEIDEN (1804-1881), Theodor SCHWANN (1810-1882) y Hugo von MOHL (1805-1872), quienes demostraron que cualquier órgano se compone de células y que toda célula procede por división de otra, con lo que sentaron las bases de la llamada *doctrina celular;* el belga Edouard VAN BENEDEN (1846-1910), que dio la prueba del papel desempeñado por los cromosomas en la fecundación y la relación que éstos tienen con la herencia, campo en el cual le siguieron los trabajos del austriaco Johann Gregor **Mendel** (1822-1884) y del norteamericano Thomas Hunt MORGAN (1866-1945).

La Histología se inició con el francés Xavier **Bichat** (1771-1802), autor de *Anatomía general,* primer tratado sobre los tejidos, cuyos continuadores fueron Rudolf von KOELLIKER (1817-1905), Louis RANVIER (1835-1922) y Camillo GOLGI (1844-1926). Sin embargo, la figura descollante en esta especialidad fue el español Santiago **Ramón y Cajal** (1852-1934), cuyas investigaciones sobre la morfología y conexiones de las células nerviosas del cerebro y otros órganos le valieron la concesión del Premio Nóbel de Medicina en 1906.

En Anatomía y Zoología, el inglés Richard OWEN (1804-1892) siguió los pasos de Cuvier; los franceses Jean-Baptiste **Lamarck** (1744-1829) y Étienne **Geoffroy Saint-Hilaire** (1772-1844) fueron los fundadores del *transformismo,* doctrina que recogió el inglés Charles **Darwin** (1809-1882) para elaborar la teoría sobre la evolución de las especies *(darvinismo* o *darwinismo)* expuesta en el libro *Del origen de las especies por medio de la selección natural.*



Fot. Larousse

Claude Bernard, autor de una teoría fundamental en el estudio de las ciencias biológicas.

Con el francés Antoine Laurent de **Lavoisier** (1743-1794) se reanudó la tradición de la Fisiología experimental, en la que brillaron los ya citados Xavier Bichat y Claude Bernard, junto a su compatriota François MAGENDIE (1783-1855). Y no se puede naturalmente cerrar esta breve reseña histórica sin mencionar la excelsa figura de Louis **Pasteur** (1822-1895), creador de la Bacteriología y autor de importantes descubrimientos sobre los fermentos y las enfermedades contagiosas, que llegó a combatir el carbunco y la rabia con vacunas. Este último descubrimiento (1855) demostró definitivamente la teoría defendida por él, según la cual las enfermedades contagiosas, lo mismo que las infecciones en cirugía, son producidas por microorganismos. Gracias a este investigador se abrieron nuevos senderos para la medicina, la veterinaria, la química y la industria de las fermentaciones. Pasteur dejó una importante escuela, en la que se destacaron Émile ROUX (1853-1933), Elías METCHNIKOV (1845-1916), Alphonse LAVERAN (1845-1922) y Albert CALMETTE (1863-1933).

Merecen también citarse el argentino Bernardo Alberto **Houssay** (1887-1971), autor de trabajos de fisiología y de estudios sobre el metabolismo de los hidratos de carbono, que le valieron el Premio Nóbel en 1947, y el español Severo **Ochoa,** n. en 1905, naturalizado norteamericano, Premio Nóbel en 1959, cuyo principal hallazgo fue la síntesis que llevó a cabo del ácido ribonucleico mediante la acción de ciertas enzimas.

El español Santiago Ramón y Cajal.



Fot. Algar (2)

Severo Ochoa, premio Nóbel en 1959.

Nivel molecular

Bioquímica

Elementos biogenésicos : Glúcidos. Lípidos. Prótidos. Ácidos nucleicos. Principios inorgánicos. — Catalizadores : Enzimas. Vitaminas. Hormonas.

Los seres vivos (vegetales, animales, hombres) representan, frente a la materia inerte, una categoría diferente. La vida es como una nueva propiedad de la materia y solamente aparece cuando ciertas moléculas se disponen según un orden rigurosamente determinado. Este orden específico de la materia viviente origina consecuencias morfológicas y dinámicas. Las primeras quedan evidenciadas en la constitución de individuos bien definidos, caracterizados por formas peculiares, y las segundas corresponden al *metabolismo*, que comprende la asimilación y desasimilación en perfecto equilibrio dinámico, la *productividad*, manifestada en el crecimiento y la reproducción, y la *excitabilidad* o capacidad de reacción ante los estímulos mediante movimientos. Tanto las consecuencias morfológicas como las dinámicas pueden considerarse como *funciones vitales*, inherentes al concepto de *vida* y que se desarrollan, mediante complejos fenómenos físico-químicos, en las sustancias orgánicas y minerales que reciben globalmente el nombre de *materia viva*.

La *Bioquímica*, ciencia independiente y muy amplia, es el complemento indispensable de la Biología, puesto que, pese a la aparente disparidad de los organismos vivos, los elementos químicos que componen éstos son idénticos, aunque organizados de distintas maneras. Esta rama del saber surgió de modo especial para estudiar más profundamente la agrupación molecular, que es exclusiva de los seres vivos.

ELEMENTOS BIOGENÉSICOS

La materia viva está formada apenas por un tercio de los elementos químicos conocidos que reciben el nombre de *elementos biogenésicos*. Éstos, abundantes en la biosfera, tienen alto calor específico y bajo peso atómico y densidad. Entre ellos el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno constituyen el 95 por ciento de toda materia viva, y el azufre, calcio, potasio, fósforo, sodio, cloro y magnesio el 4,5 por ciento. Finalmente, existen unos elementos vestigiales u *oligoelementos*, como el hierro, silicio, cinc, aluminio, cobre, boro, etc., que se hallan en la materia viva combinados entre sí en forma de moléculas, unas veces de modo elemental, como en el caso del agua, y otras de manera muy compleja. Se hace una distinción básica entre los *principios orgánicos*, que llevan carbono, y los *inorgánicos*, es decir, las sales minerales y el agua. Los primeros se dividen en *glúcidos*, *lípidos*, *prótidos* y *ácidos nucleicos*.

Glúcidos. — Los *glúcidos* se conocen también, aunque impropiamente, con la denominación de *hidratos de carbono*, ya que son aldehídos y cetonas de alcoholes polivalentes. Se incluyen en este grupo los azúcares propiamente dichos y los que, por hidrólisis, se escinden en azúcares.

Los glúcidos proceden de la fotosíntesis de las células vegetales y son compuestos ternarios, es decir, que están formados por carbono, oxígeno e hidrógeno. Se clasifican en monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, cuyas características se expondrán a continuación.

Los **monosacáridos,** constituidos por pequeñas moléculas (con 3, 4, 5 ó 6 átomos de C), son cristalizables, dulces y solubles en agua. Merecen citarse, desde el punto de vista biológico, las *pentosas* (5 átomos de C), como la ribosa y la desoxirribosa, y las *hexosas* (6 átomos de C), como la fructosa y la glucosa.

Los **disacáridos,** formados por la unión de dos monosacáridos, con liberación de agua, pueden desdoblarse, por hidrólisis, en los monosacáridos que los componen. Los más conocidos son la *sacarosa* (glucosa + fructosa), soluble en agua, de efecto edulcorante, procedente de la caña de azúcar, la *lactosa* (glucosa + galactosa), que es el azúcar de la leche, y la *maltosa*, constituida por dos moléculas de glucosa. En los animales, la hidrólisis se realiza merced a unas enzimas específicas para cada disacárido.

Los **polisacáridos,** que resultan de la unión de *n* moléculas de monosacáridos, con serapación de moléculas de agua (*n*-1), son insolubles en agua, por el gran volumen molecular que tienen, insípidos y no cristalizables. Orgánicamente actúan como sustancias de reserva y los principales son el *almidón*, abundante en las semillas y tubérculos, que al hidrolizarse se convierte sucesivamente en dextrina, maltosa y glucosa; la *celulosa*, que constituye la estructura esquelética de las plantas y se transforma en glucosa al hidrolizarse en la panza de los rumiantes; y el *glucógeno* o *almidón animal*, que se almacena en el hígado, músculos y corazón y se transforma por hidrólisis primeramente en maltosa y luego en glucosa.

Lípidos. — Los *lípidos* no son más que compuestos ternarios (C, O, H), muy heterogéneos desde el punto de vista químico. Poseen algunas propiedades comunes, como la baja densidad, insolubilidad en el agua y solubilidad en ciertos líquidos orgánicos. Estructuralmente son ésteres de la glicerina con ácidos grasos

Representación esquemática de la glucosa, ejemplo de molécula simple. Las letras C, H y O son, respectivamente, los símbolos químicos del carbono, hidrógeno y oxígeno.


Fot. Larousse

Cristales de glucosa, una de las principales fuentes de energía del organismo, vistos con un microscopio de luz polarizada.

superiores (de 2 a 30 átomos de C), tales como los butírico, oleico, esteárico y palmítico, que siempre están formados por un número par de átomos de C. Los lípidos más elementales, y al mismo tiempo más abundantes, son las *grasas;* otros, de más compleja composición química, reciben el nombre de *lipoides*.

Las **grasas** tienen la propiedad física de emulsionarse con el agua; un ejemplo de émulsión permanente es la que se produce en la contenida en la leche. Entre las propiedades químicas de este lípido cabe mencionar la *saponificación*, base de la industria de los jabones, y la *esterificación*, dos reacciones inversas que pueden representarse de la siguiente forma :

3 mol. de ácido graso + 1 mol. de glicerina
esterificación
⟶ 1 mol. de grasa + 3 mol. de agua.
⟵
saponificación

Si se considera el punto de fusión, las grasas se dividen en aceites, que son líquidos a temperatura normal, mantecas (semisólidos) y sebos (sólidos). Actúan en el organismo como sustancias de reserva y se acumulan en el tejido adiposo del animal.

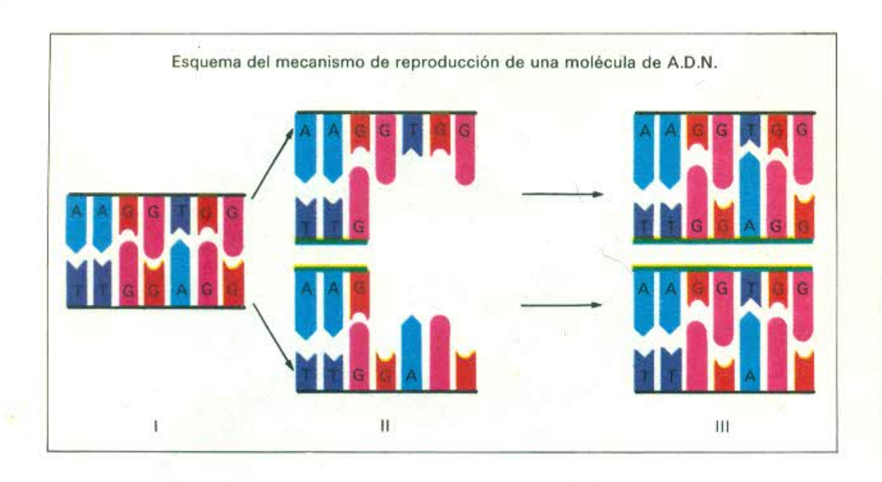
Los **lipoides** son heterogéneos y semejantes a las grasas desde el punto de vista físico. El nitrógeno y el fósforo se suelen combinar con la molécula ternaria normal (C, H y O). Se encuentran abundantemente en las células y los más corrientes son los *fosfoaminolípidos*, intermedios entre lípidos y prótidos; los *céridos*, protectores de la cubierta foliar; los *fosfátidos*, como la lecitina (en la yema de huevo) y la colina; los *pigmentos*, como los carotenos y las xantofilas, asociados ambos a la clorofila; y los *esteroides*, que poseen en su molécula un grupo hidroxilo, entre los cuales figuran la vitamina D, ciertas hormonas sexuales, los corticoides suprarrenales, el colesterol, la coprosterina, etc.

Prótidos. — Los *prótidos* son compuestos cuaternarios (C, O, H, y N), asociados a veces con azufre y otros elementos, que, contrariamente a los anteriores, tienen una intensa actividad. Se trata de macromoléculas con millares de átomos y un peso molecular muy alto, por lo cual sus disoluciones se presentan generalmente con acentuado carácter coloidal. Cuando se hidrolizan, se escinden en aminoácidos, unidades constitutivas que forman sus moléculas. Desde el punto de vista químico, los prótidos son ácidos orgánicos con carácter anfótero, ya que tienen en la estructura una función amina y otra ácida. Pueden combinarse entre sí, dando unas cadenas laterales llamadas *péptidos*, algunos de los cuales se segregan en el organismo, como la insulina pancreática o la oxitocina del lóbulo posterior de la hipófisis. Se pueden dividir en proteínas u holoproteídos y proteínas complejas o heteroproteídos.

Las **proteínas,** integradas solamente por cadenas peptídicas, constituyen los principales componentes de los seres vivos. Entre ellas pueden mencionarse las *seroglobulinas*, *seroalbúminas* y *fibrinógenos* en la sangre, la *miosina* en los músculos, la *queratina* en la piel, uñas y pelo, así como la *colágena* y la *gelatina* en el tejido conjuntivo.

Las *proteínas complejas* liberan, por hidrólisis, aminoácidos y otros grupos no proteicos. Las principales son los *cromoproteídos*, hemoglobina y clorofila, los *fosfoproteídos*, caseína láctica, los *glucoproteídos*, mucinas de la saliva, y los *nucleoproteídos*, que se encuentran en la cromatina núcleocelular y están formados por una proteína y un ácido nucleico, del que se tratará a continuación.

Ácidos nucleicos. — Los *ácidos nucleicos*, de gran complejidad, tienen variados componentes que se enlazan en largas cadenas constituidas esencialmente de la siguiente manera : pentosa + ácido ortofosfórico + bases nitrogenadas. Estas últimas pueden ser *bases pirimídicas* (núcleo de la pirimidina) o *bases púricas* (núcleo de la purina). Por lo tanto, en los ácidos nucleicos hay guanina y adenina (bases púricas), así como citosina, timina y uracilo (bases pirimídicas). Los ácidos nucleicos conocidos contienen guanina y adenina, pero se diferencian



I. Molécula inicial. II. Formación, a lo largo de los elementos preexistentes que sirven de matriz, de un filamento nuevo y complementario. III. Las dos moléculas que se crean están constituidas por un filamento antiguo y uno nuevo. La enzima, que cataliza la reacción, no figura en el dibujo.

por las bases pirimídicas y las pentosas que los componen. Esos ácidos son los A. D. N. (desoxirribonucleicos) y los A. R. N. (ribonucleicos).

Cuando un *mononucleótido* se une a otros, surge una cadena de *polinucleótidos*, que puede ser de A. D. N. o de A. R. N. Según la posición y el orden en las mencionadas cadenas de las bases citadas aparecen distinciones en la herencia, de lo cual se deduce la importancia que tiene el conocimiento de los ácidos nucleicos en Genética.

Principios inorgánicos. — Los principios inorgánicos son, como se ha señalado ya anteriormente, el agua y las sales minerales.

El **agua** entra en gran proporción como componente celular y orgánico y es imprescindible para la vida. Hasta el 56 por ciento de este líquido orgánico se encuentra en las células mientras que el resto se halla en los plasmas y en ciertas glándulas secretoras. Esta proporción en el organismo se mantiene constante, ya que de lo contrario decaerían las funciones vitales. El *balance hídrico* es el equilibrio compensador entre ganancias y pérdidas de agua; las primeras proceden de la absorción, oxidación y síntesis en las reacciones que la liberan y las segundas se deben a la evaporación, transpiración y secreción. El agua, además, disuelve ciertas sustancias que las células absorben.

Las **sales minerales** y los iones que éstas contienen revisten gran importancia en el quimismo celular y orgánico, a pesar de que muchas de ellas se encuentran en cantidades tan reducidas que solamente pueden medirse en *gammas* (1 gamma = 0,000 001 g), a causa de que son componentes de diversas sustancias del organismo. Los siete elementos fundamentales de estas sales lo constituyen el *calcio*, esencial para la contractilidad muscular, el *sodio* y el *potasio*, que regulan respectivamente el nivel osmótico extracelular e intracelular, el *magnesio*, complemento del calcio en la contractilidad, el *fósforo*, que actúa en el metabolismo de los glúcidos, el *cloro*, factor del equilibrio osmótico en las soluciones orgánicas, y el *azufre*, presente en la mayoría de las células y en muchas sustancias orgánicas. Además de éstos, distintos elementos, como el hierro, yodo, cinc, molibdeno, cobalto, cobre y algunos otros más, desempeñan asimismo determinado papel en la vida celular y en los tejidos, pero en proporción mucho menor.

Los *bicarbonatos* y *fosfatos* intervienen asimismo en la regulación de la acidez o de la alcalinidad (pH), sin la cual se producirían trastornos graves en el balance bioquímico general de la actividad celular.

CATALIZADORES

La intensa actividad intracitoplasmática que tiene lugar en las células es posible gracias a la presencia de unas sustancias, llamadas *catalizadores*, que facilitan esas reacciones sin intervenir directamente en ellas. Los catalizadores regulan y coordinan todo el funcionamiento celular, produciendo efectos incluso en pequeñísimas cantidades medidas en gammas. Estas sustancias, llamadas también *biocatalizadores*, se dividen en tres grupos : *enzimas*, *vitaminas* y *hormonas*.

Enzimas. — Las *enzimas*, proteínas que catalizan las reacciones biológicas y estimulan la ejecución de las mismas, tienen una acción fundamental en el organismo. Estas sustancias son *endógenas*, es decir, se forman dentro del organismo, y *específicas*, propias de cada ser. Poseen una porción proteica *(apoenzima)* y otra no proteica *(coenzima)*. La enzima completa recibe el nombre de *holoenzima*, como se puede apreciar en el siguiente esquema :

APOENZIMA	COENZIMA	HOLOENZIMA
inactiva proteína peso molecular elevado no dializable termolábil coloidal	inactiva molécula orgánica peso molecular bajo dializable termoestable no coloidal	activa

Teniendo en cuenta la naturaleza de la acción específica que ejercen, las enzimas se clasifican en *hidrolasas*, que comprenden las proteasas, lipasas y carbohidrasas; *oxidorreductasas*, integradas por las dehidrogenasas, oxidasas y peroxidasas; *trasferasas*, que abarcan las fosforilasas y transaminasas; y *desmolasas*, constituidas por las desulfhidrasas y decarboxilasas.

Todas ellas actúan a nivel intra o extracelular y son imprescindibles en los procesos metabólicos celulares y orgánicos.

Vitaminas. — Las *vitaminas* se forman en los vegetales y se consideran como catalizadores exógenos. Al no poder sintetizarlas, los animales las toman de las plantas verdes.

Un régimen alimenticio, equilibrado en glúcidos, lípidos y prótidos, resultará deficiente si no contiene la adecuada proporción de vitaminas, y la carencia de éstas

determinará invariablemente la presentación de unos síntomas, típicos para cada avitaminosis, que desaparecerán al completarse la dieta con aquellas que son necesarias. En 1911 se aislaron por primera vez unos principios activos, muy importantes para la vida, que se supuso eran *aminas*, palabra de donde procede la denominación de *vitamina* (amina vital). Hoy se sabe que muchos de esos principios no son aminas, ni siquiera compuestos nitrogenados, por lo que no es muy apropiado llamarlos así, aunque este término sea el que se emplea universalmente. Las vitaminas, serie de principios alimenticios de acción biológica no siempre específica, no han de clasificarse como compuestos plásticos o energéticos, al ser requeridas en cantidades mínimas, sino como componentes de sistemas enzimáticos, de acción insustituible en procesos biológicos fundamentales del metabolismo intermedio. Pueden incluirse también entre los agentes biocatalizadores, junto a las hormonas y enzimas.

Reciben el nombre de *provitaminas* aquellas sustancias que se transforman en vitaminas cuando se les somete a ciertos procesos fisiológicos, que les hacen sufrir un desdoblamiento molecular al penetrar en el organismo, o a otros fenómenos físicos.

Generalmente las vitaminas se clasifican, según su solubilidad en agua *(hidrosolubles)* o en aceite *(liposolubles)*, como se expone de manera esquemática a continuación :

Hidrosolubles

VITAMINA C : *ácido l-ascórbico*. Antiescorbútica y antiinfecciosa.
COMPLEJO « B » :
B1 : *aneurina* o *tiamina*. Antineurítica.
B2 : *riboflavina*. De acción enzimática.
B6 : *adermina* o *piridoxina*. Actúa como coenzima.
Factor P-P : *ácido nicotínico*. Antipelagrosa.
Uropterina : *purina compleja*. Regenera hematíes.
Halocromo : deriva del indol. Genera melanina.
} Ambos factores pertenecen al B2.
Bx o vit. H' : *ácido p-amino-benzoico*. Evita el encanecimiento.
Factor Colina : deriva del amonio. Evita degeneración hepática.
Ácido pantoténico : forma parte de una coenzima.
Biotina o vit. H : *avidalbúmina*. Evita ciertas alteraciones cutáneas.
Ácido fólico : corrige anemias macrocíticas.
B12 : corrige anemias ferropénicas.

Liposolubles

VITAMINA A : *caroteno*. Antixeroftálmica.
VITAMINA D : *calciferol nuevo*. Antirraquítica.
VITAMINA E : *tocoferol*. Factor antiesterilizante.
VITAMINA F : mezcla compleja de ácidos grasos insaturados. Dérmica.
VITAMINA K : activa la formación de protrombina. Factor coagulante.

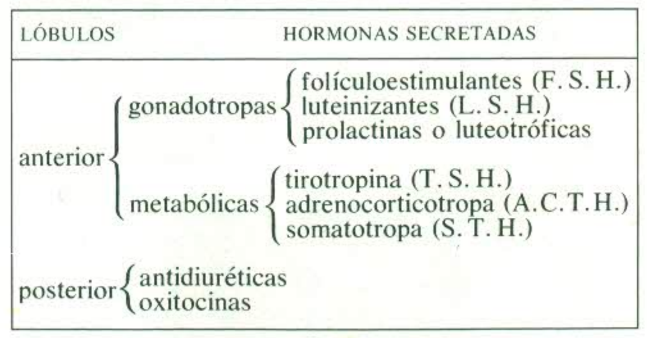
Hormonas. — Las *hormonas* son catalizadores endógenos y específicos, es decir, peculiares de cada especie e incluso de cada individuo. Normalmente se forman, en la proporción necesaria, en los organismos vegetales (auxinas o fitohormonas) y en los animales y actúan también en pequeñas cantidades. Se crean en las glándulas endocrinas y su actuación está coordinada por los sistemas nerviosos simpático y parasimpático, lo cual permite hablar de una *correlación neuroendocrina*. Tanto los excesos como los defectos de la secreción de estas sustancias provocan alteraciones en la salud del individuo que las padece.

La composición química de las hormonas es muy variada, pero actualmente se considera que tiene gran semejanza con la de las enzimas. En el cuadro siguiente figuran las hormonas clasificadas según las glándulas endocrinas que las segregan :

Hormonas

TIROIDEAS	*tiroxina* y *diyodotiroxina* : actúan sobre la obesidad, cretinismo, metabolismo cálcico y las glándulas sexuales.
PARATIROIDEAS	regulan el nivel cálcico en la sangre.
PANCREÁTICAS	*insulina* : controla el metabolismo de los glúcidos. *adrenalina* : eleva la presión arterial por vasoconstricción.
SUPRARRENALES	*cortisona* : tiene múltiples acciones circulatorias, dérmicas y cicatrizantes.
SEXUALES MASCULINAS O ANDRÓGENOS	*gonadotropa* (lóbulo antehipofisario), *androsterona*, *dehidroandrosterona* y *testosterona*. Actúan complementándose.
SEXUALES FEMENINAS O ESTRÓGENOS	*estrona* o *foliculina*, *estriol*, *estradioles* y *progesterona*. Actúan complementándose.

Las *hormonas hipofisarias* proceden de la hipófisis, pequeño órgano dividido en dos partes : el lóbulo anterior o *adenohipófisis* y el lóbulo posterior o *neurohipófisis*, que segregan distintas hormonas, como puede observarse en el cuadro siguiente :



LÓBULOS		HORMONAS SECRETADAS
anterior	gonadotropas	folículoestimulantes (F. S. H.)
		luteinizantes (L. S. H.)
		prolactinas o luteotróficas
	metabólicas	tirotropina (T. S. H.)
		adrenocorticotropa (A.C.T.H.)
		somatotropa (S. T. H.)
posterior		antidiuréticas
		oxitocinas

Actualmente se conocen hormonas existentes en los invertebrados, sobre todo en los insectos, que estimulan los procesos de crecimiento e intervienen en las metamorfosis y mudas. Los trastornos hormonales se deben a deficiencia secretora *(hipofunción)* o a exceso de producción *(hiperfunción)*. Además de las hormonas de acción general, existen otras, muy localizadas, que son también importantes, como las *histohormonas* de algunos tejidos, las *neurohormonas* de ciertos órganos nerviosos o las *cardihormonas* del corazón. La *Endocrinología* es la ciencia que estudia todo lo que se refiere a las glándulas endocrinas y a las hormonas (estructuras, efectos, dosificación, diagnósticos, etc.).

Nivel unicelular

Citología

Morfología celular : Forma y tamaño de la célula. Componentes celulares. *Membranas celulares. Citoplasma. Núcleo.* División de los seres unicelulares. — Fisiología celular : Funcionalismo celular. Funciones reproductoras celulares. Energética celular. Proceso fotosintético. Reacciones redox protoplasmáticas. Respiración.

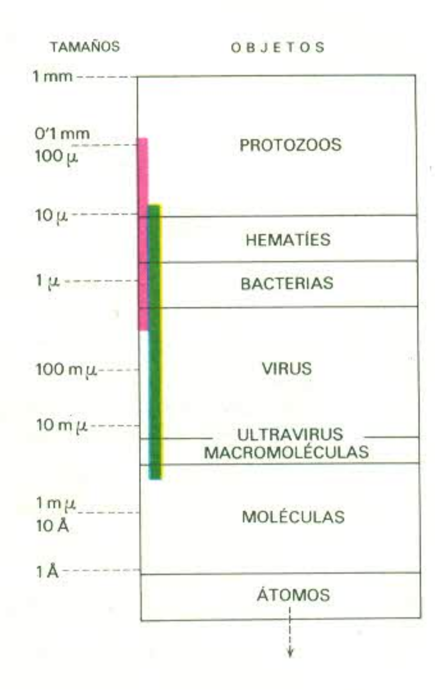
Se ha llegado a la conclusión de que la unidad anatómica y fisiológica de cualquier ser vivo, o sea, la cantidad más pequeña de materia dotada de vida propia, es la *célula*, al observar que los orgánulos que la constituyen no pueden sobrevivir fuera de ella. Los seres unicelulares o *protozoos* son autónomos funcionalmente, con un comportamiento semejante al de los pluricelulares que reciben el nombre de *metazoos*, o de *metafitos* si se trata de plantas.

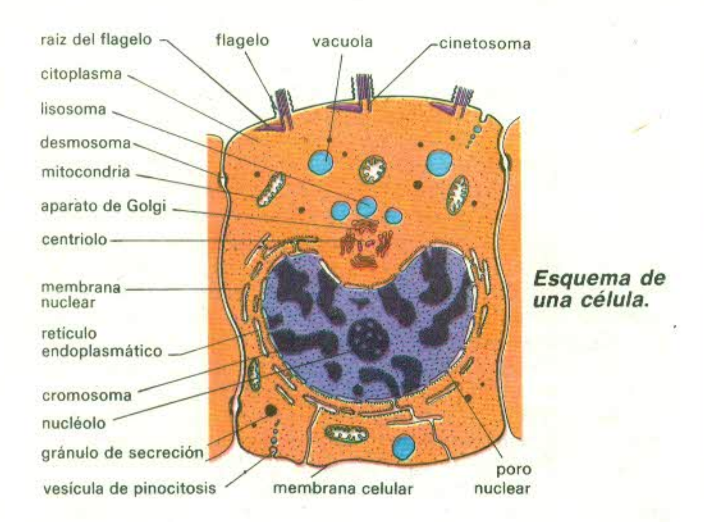
La *Citología*, estudio de las células, es una ciencia de importancia fundamental y las investigaciones efectuadas en este campo permitirán, en un porvenir más o menos cercano, interpretar y corregir especialmente los procesos cancerosos, inmunológicos y heredopatológicos.

El microscopio electrónico representa un prodigioso auxiliar exploratorio, aunque se sigue empleando el microscopio óptico que es todavía de gran utilidad. Se aplican asimismo técnicas de radioisotopía y de cultivos tisulares «in vivo» que proporcionan informaciones muy valiosas en las investigaciones citológicas.

MORFOLOGÍA CELULAR

Forma y tamaño de la célula. — La *forma* de las células animales es variable, mientras que la de los vegetales se distingue por la rigidez. Los seres unicelulares suelen ser esferoidales durante el estado de reposo, aunque algunos son planos, cilíndricos, alargados, discoidales, etc. El *tamaño* varía lo mismo que la forma. Se utilizan para medir las células fracciones de milímetro, tales como la *micra* (μ = 0,001 mm), la *milimicra* (mμ = 0,001 μ), que, según los recientes acuerdos internacionales, recibe el nombre de *nanomicra* (nm), y el *ångström* (Å = 0,1nm = 0,000 000 1 mm = 10^{-7} mm), que es la más pequeña de todas las medidas empleadas. La mayoría de los seres unicelulares y las células en general se hallan comprendidas entre 5 y 50 μ. Hay excepciones inferiores o superiores a esos promedios, como algunos micrococos de 0,2 μ de diámetro y las fibras de la planta *Boehmeria nivea*, con 550 mm, es decir algo más de medio metro. Pueden apreciarse mejor las dimensiones relativas en el siguiente esquema, donde se representan en trazos rojo y azul los alcances respectivos de los microscopios óptico y electrónico :





Esquema de una célula.

Componentes celulares. — Los *componentes celulares* son la *membrana* y el *protoplasma*, constituido éste por el *citoplasma* y el *núcleo*. Estas partes existen tanto en las células vegetales como en las animales, si bien entre éstas existen unas diferencias que se resumen a continuación :

VEGETALES	ANIMALES
Células con membrana rígida	Células flexibles y desnudas
Inmóviles	Móviles
Con clorofila	Sin clorofila
Utilización directa de la energía solar	Imposibilidad de utilizar esa energía directamente
Autótrofas	Heterótrofas
Productoras	Consumidoras
Crecimiento ilimitado	Crecimiento limitado

En el siguiente cuadro se indica la estructura general de la célula con las funciones que cada componente realiza :

MEMBRANA CELULAR O PLASMÁTICA	Funciones permeables o selectivas.
PARED CELULAR (en vegetales)	Rodea la membrana celular y le da rigidez por su constitución celulósica.
CITOPLASMA	*Retículo endoplasmático*, superficie donde se verifican reacciones biológicas de la membrana. *Centrosoma*, que interviene en el proceso de división. *Aparato de Golgi*, productor de secreciones celulares. *Lisosomas* (sólo en animales), que proveen las enzimas digestivas intracelulares. *Ribosomas*, zonas de síntesis proteica. *Vacuolas*, sistemas de depósito del agua, desechos, pigmentos. *Hialoplasma*, que posee enzimas glucolísicas y sustancias nutrientes celulares. *Mitocondrias*, gránulos que producen energía oxidativa.
NÚCLEO	*Membrana nuclear*, que actúa selectivamente entre núcleo y citoplasma. *Cromosomas*, que son visibles solamente en fases de división y llevan el código hereditario. *Nucléolos*, cuerpos redondos que funcionan sintetizando ribosomas. *Nucleoplasma*, jugo nuclear constructor del A. D. N.

A continuación se puede observar lo que tienen en común las células vegetales y animales y algunas de las diferencias que existen entre ellas :

CÉLULA VEGETAL	CÉLULA ANIMAL
Membrana de secreción celulósica y membrana plasmática	Membrana plasmática
Citoplasma con vacuolas grandes y numerosas	Citoplasma casi sin vacuolas
Condriosomas y plastos	Condriosomas
Sin centrosoma en la mayoría de los casos	Centrosoma
Núcleo	Núcleo

En las estructuras celulares vegetales o animales hay, sin embargo, múltiples excepciones en los orgánulos y caracteres citados.

Membranas celulares. — Las *membranas* permiten la comunicación entre la célula y el medio donde se encuentra, al mismo tiempo que actúan como aislante y protector de diversos agentes que pudieran resultar dañinos. Vistas con el microscopio óptico, se presentan como una delgada línea continua, pero el microscopio electrónico revela que están integradas por dos capas proteicas entre las que se encuentra un espacio intermedio, formado seguramente por un doble estrato de moléculas de fosfolípidos. La membrana externa rige los intercambios celulares con el entorno y está dotada, a modo de envoltura, de *flagelos* y *cilios* o *vaina flagelar.* En la base de cada cilio o flagelo se observa un *blefaroplasto* o *centriolo*, elemento contráctil del orgánulo ciliar, que, al moverse, permite que las células se desplacen, aunque éstas, a veces, lo hacen por medio de seudópodos, que son prolongaciones de las mismas.

Los vegetales tienen también una membrana esquelética, exterior a la plasmática celular, de consistencia rígida y naturaleza celulósica, constituida por capas superpuestas, de las cuales la más externa está formada de pectina. A pesar de esa rigidez, las células vegetales son elásticas y pueden contraerse durante el crecimiento, pero carecen, sin embargo, de la flexibilidad propia de las células animales.

Citoplasma. — En el interior de la membrana está situado el *citoplasma fundamental*, cuyas cadenas estructurales de aminoácidos forman una dispersión de macromoléculas en el agua. Dentro de éste y en conexión con los de las membranas plasmáticas, unos canalillos y cavidades intercomunicados, llamados *cisternas*, constituyen el *retículo endoplasmático*.

En el citoplasma, denominado también *hialoplasma*, se encuentran las *mitocondrias*, protegidas por una membrana externa; los *lisosomas*, propios de las células animales y cuya membrana periférica es consistente; los *ribosomas*, llamados así por contener A. R. N. (ácido ribonucleico), que son gránulos localizados en la periferia de las dobles membranas reticuloendoplasmáticas; el *centrosoma*, órgano en cuyo interior se encuentra el centriolo, cuerpo esférico rodeado por la centrosfera y una especie de corona llamada *aster;* el *aparato de Golgi*, conjunto de vesículas alargadas, denominadas *dictiosomas*, que se reúnen en la proximidad del núcleo e intervienen en la actividad excretora de la célula; y las *vacuolas*, más abundantes y grandes en las células vegetales, que llegan a formar, al envejecer, una vacuola mayor capaz de desplazar al citoplasma hacia la periferia celular. Estas últimas pueden ser digestivas, en los protozoos, o pulsátiles, que actúan como elementos motores y regulan la cuantía hídrica. El conjunto de todas ellas recibe el nombre de *vacuoma*.

En la célula vegetal se encuentran también los *plastos* o *plastidas*, con una doble membrana plastidial y gotas de grasa y gránulos de almidón en el interior o en el espacio intermembranoso, que se dividen en *cromoplastos*, con pigmentos, y *leucoplastos*, acumuladores de reservas diversas.

Núcleo. — El *núcleo*, cuya importancia es fundamental, se presenta como una gran vesícula céntrica, de forma esferoidal y rodeada de una membrana nuclear doble para separarla del citoplasma, en la que se encuentra el jugo nuclear o *nucleoplasma*, de composición proteica y aspecto viscoso. Este jugo contiene la *cromatina*, constituida por proteínas y ácidos nucleicos (A. D. N. y A. R. N.), que no es visible durante la interfase (período entre dos divisiones) ya que se difunde y forma una especie de red llamada *retículo nuclear.* En el núcleo se encuentran el *nucléolo*, conjunto de gránulos parecidos a los ribosomas con gran cantidad de A. R. N. y de proteínas, que, al no tener límites fijos, no está claramente separado del nucleoplasma, y los *cromosomas*, portadores del código hereditario, que están entrecruzados entre sí, cuando el núcleo está en reposo, o arrollados en espiral, en el momento inicial de una fase de división del núcleo o de la célula.

División de los seres unicelulares. — De acuerdo con lo dicho anteriormente acerca de los orgánulos celulares, y más particularmente sobre el núcleo, se puede establecer la siguiente división esquemática de los seres unicelulares :



Las **bacterias** poseen elementos semejantes a los vegetales, como la pared celular, envuelta ocasionalmente por una cápsula de estructura química polisacárida. No están dotadas siempre de flagelos y la membrana citoplasmática, que no es lisa, tiene a veces unos repliegues llamados *mesosomas*. Las **algas cianofitas** carecen de flagelos y se asemejan a las bacterias en la organización, pero difieren de ellas por la clorofila y el mayor tamaño que tienen. Los **virus** poseen una cubierta proteica y un núcleo con un cromosoma.

FISIOLOGÍA CELULAR

Funcionalismo celular. — La membrana celular es una envoltura semipermeable que, por procesos osmóticos, deja entrar sustancias y las expulsa. La pueden atravesar compuestos orgánicos, sales inorgánicas, gases, ácidos y álcalis. La motilidad celular general parece originarse por estímulos quimiotáxicos, atractivos o repulsivos.

Las funciones del núcleo difieren cuando la célula se halla en fase de división o en interfase. En el último caso, los cromosomas liberan A. R. N. Hay que mencionar, además, que el núcleo es el elemento que dirige las funciones celulares.

Funciones reproductoras celulares. — La célula se reproduce por *gemación*, con la salida de unos bultos o yemas en la célula madre, como ocurre en las levaduras y los hidrozoarios; por *esporulación*, cuando en el interior del citoplasma se forman varias células hijas, de modo semejante al caso de los esporocitos palúdicos; y por *bipartición* o fragmentación por el centro, lo cual sucede principalmente en amebas y paramecios.

La reproducción celular se verifica por división directa o *amitosis* y por división indirecta o *mitosis*, llamada también *cariocinesis*. La primera, quizá menos frecuente, consiste en un estrangulamiento núcleo-citoplasmático que conduce a la formación de dos células hijas iguales entre sí y también a la célula madre, pero de dimensiones aproximadamente equivalentes a la mitad de ésta. La mitosis, en la que intervienen el centrosoma y los cromosomas, tiene cuatro fases : la *profase*, en la que los cromosomas se hacen visibles en forma de filamentos alargados y el centriolo del centrosoma se divide en dos partes, cada una de las cuales se dirige hacia uno de los polos celulares, aunque siguen unidas por unas fibrillas que constituyen el huso acromático, y en la que desaparece el nucléolo y se desagrega la membrana nuclear; la *metafase*, período en el que los cromosomas se colocan a la misma distancia de los polos, en un plano perpendicular al huso acromático, y se doblan en forma de horquilla; la *anafase*, durante la cual los cromosomas se escinden longitudinalmente en cromosomas hijos que se apartan en dos grupos atraídos hacia los polos opuestos de la célula; y la *telofase*, cuando estos grupos de cromosomas se encuentran envueltos en una nueva membrana nuclear para constituir así los dos núcleos de las células hijas. La mitosis concluye con la división del citoplasma en dos mitades que contienen cada una un núcleo propio.

En los seres superiores, dotados de reproducción sexual, se producen dos divisiones sucesivas en las células diploides, parecidas a la mitosis y que llevan el nombre de *división reductora* o *meiosis*, que conducen a la formación de células hijas haploides.

Energética celular. — La vida de la célula se basa en unos intercambios bioquímicos constantes que requieren para realizarse la presencia de energía. El conjunto de estas reacciones químicas, destinadas al mantenimiento, crecimiento o reproducción de la célula y catalizadas sobre todo por enzimas, recibe el nombre de *metabolismo*. Éste se divide en dos fases : *anabolismo*, que incluye los procesos de captación, almacenamiento y utilización de la energía, y *catabolismo*, en el cual se libera ésta.

La energía procede únicamente del Sol y la adquisición y liberación de la misma se explican por los principios de Termodinámica. Mientras algunos seres, como los vegetales, captan energía y la acumulan después de haberla transformado, otros, en especial los animales, la pueden transformar y emplear. En las células existe un equilibrio entre producción y consumo energético.

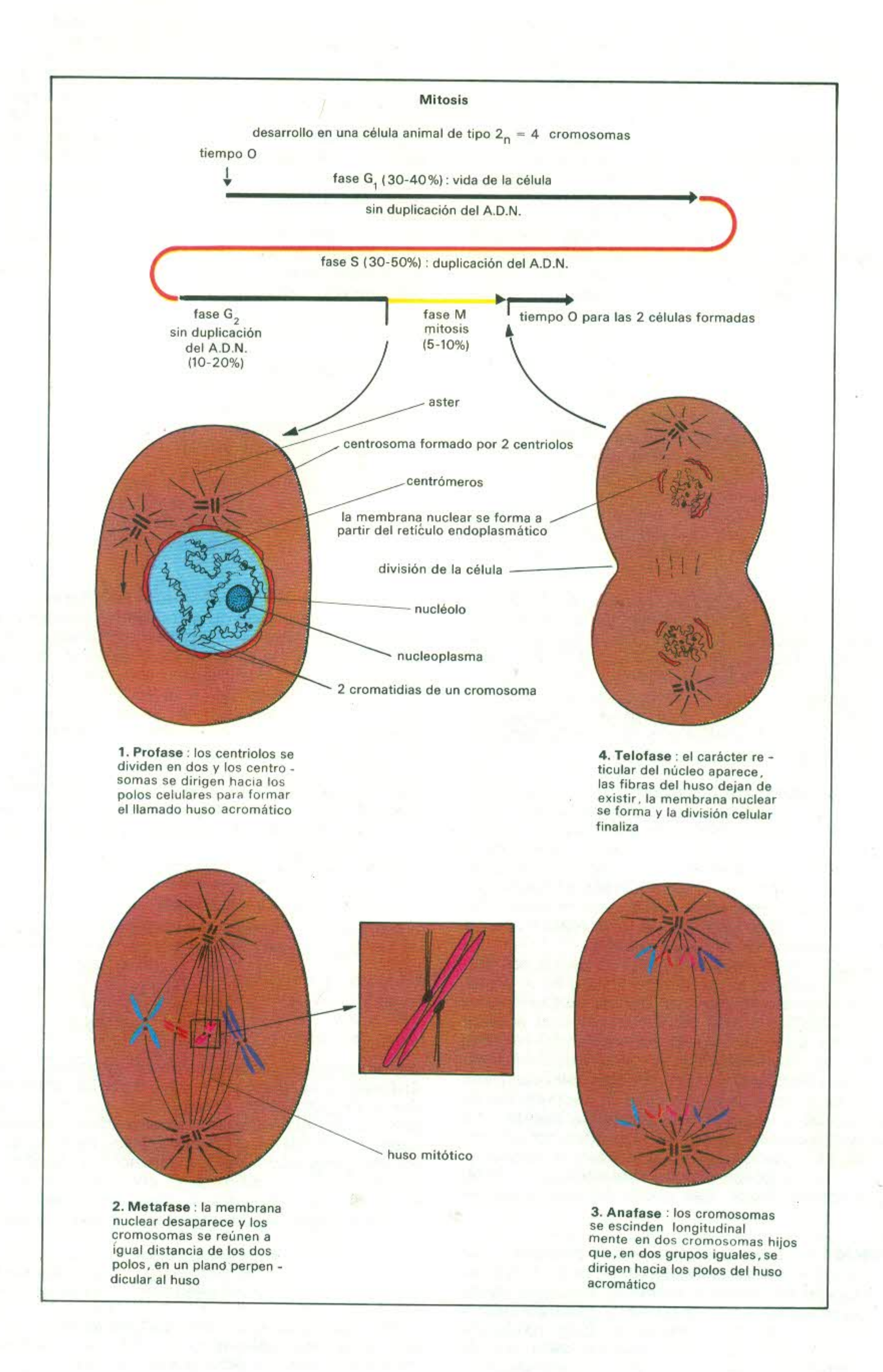
La producción se debe a la existencia de compuestos moleculares intracelulares de energía potencial elevada, como es el caso de algunos enlaces del ácido fosfórico, que están dotados de grupos orgánicos (enol, carboxilo, guanidina-fosfato y guanidina-pirofosfato). Así ocurre con el trifosfato de adenosina (A. T. P.) y el difosfato de adenosina (A. D. P.), verdaderos almacenes de energía asociada a sus enlaces por residuos fosfóricos. Cuando se rompe un enlace, lo que se simboliza con el signo ~ se liberan 11 ó 12 kilocalorías de energía y se pasa, por hidrólisis, de A. T. P. a A. D. P., según la reacción

$$\text{adenosina} \; \textcircled{P} \sim \textcircled{P} \sim \textcircled{P} \xrightarrow{\text{hidrólisis}} \text{adenosina} \; \textcircled{P} \sim \textcircled{P} + \text{HO} \; \textcircled{P} + 11 \text{ ó } 12 \text{ kilocalorías}$$

Esta reacción puede también expresarse así :

$$\text{A. T. P.} \xrightarrow{\text{hidrólisis}} \text{A. D. P.} + \text{HOP} + 11 \text{ ó } 12 \text{ kcal.}$$

El A. T. P., al poseer dos enlaces de energía elevada, almacena ésta en mayor cuantía que el A. D. P., que sólo tiene uno. El paso del A. T. P. al A. D. P. significa, por consiguiente, la liberación de energía, utilizable en otras síntesis endotérmicas. Si se liberara otro enlace de fosfato del A. D. P., se pasaría del A. D. P. al A. M. P. o



1. Profase : los centriolos se dividen en dos y los centrosomas se dirigen hacia los polos celulares para formar el llamado huso acromático

4. Telofase : el carácter reticular del núcleo aparece, las fibras del huso dejan de existir, la membrana nuclear se forma y la división celular finaliza

2. Metafase : la membrana nuclear desaparece y los cromosomas se reúnen a igual distancia de los dos polos, en un plano perpendicular al huso

3. Anafase : los cromosomas se escinden longitudinalmente en dos cromosomas hijos que, en dos grupos iguales, se dirigen hacia los polos del huso acromático

monofosfato de adenosina, que es un nucleótido sencillo. La energía liberada por tales enlaces se usa en múltiples procesos celulares, como la respiración, la producción de calor, la fotosíntesis en cloroplastos, las secreciones, la contracción muscular, etc.

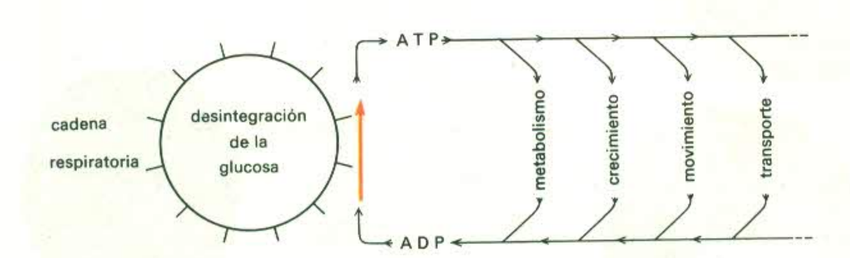
Proceso fotosintético. — De lo afirmado anteriormente, se deduce la importancia del A. D. P. y del ácido fosfórico inorgánico, existentes ambos en el citoplasma, puesto que se forma un enlace de gran energía que permite el paso del A. D. P. al A. T. P. La energía química requerida para ello procede de la transformación de la energía luminosa por la clorofila en el llamado *proceso fotosintético*. Éste se divide en dos fases : *luminosa* o *fotoquímica*, en la cual interviene únicamente la clorofila que capta la energía de la luz, y *química* u *oscura*, que es la continuación de la anterior y no necesita la presencia de la luz. De la fase luminosa deriva el paso o síntesis del A. D. P. al A. T. P., antes mencionado, así como la reducción de un compuesto por un vector hidrógeno. También acompaña a la fotosíntesis la *fotólisis del agua*, que produce hidrógeno, reductor del dióxido de carbono, y un desprendimiento de oxígeno + síntesis del agua.

Reacciones redox protoplasmáticas. — Las reacciones *redox* son procesos de oxidorreducción. Los seres capaces de obtener energía de esta manera reciben el nombre de *quimioautótrofos* y los que la captan de la luz se denominan *fotoautótrofos*. La *oxidación* consiste en la fijación de oxígeno sobre un cuerpo, mientras que la *reducción* corresponde al fenómeno inverso. En ambos casos hay una pérdida de electrones, con el subsiguiente aumento de la carga positiva.

Las reacciones redox tienen lugar, con ayuda de catalizadores o, a veces, de manera espontánea, en el protoplasma celular, donde las enzimas transportan hidrógeno o electrones. Entre aquellas últimas reciben el nombre de *oxidasas* las que catalizan la reducción del oxígeno por el hidrógeno, con formación de agua, y de *dehidrogenasas* las que catalizan la oxidación de moléculas, con pérdida de hidrógeno, y que necesitan la intervención de ciertas coenzimas del grupo de los piridinnucleótidos. En éstos, conocidos con las siglas D. P. N. (difosfopiridinnucleótido), la nicotinamida es la que cede o acepta el hidrógeno. Existe también otra combinación, el T. P. N. (trifosfopiridinnucleótido), que puede transformarse en D. P. N.

Respiración. — La *respiración*, origen principal de la energía disponible en las células, consiste en la oxidación, en especial de grasas y carbohidratos, que libera cuerpos más sencillos desde el punto de vista químico y energía utilizable en otros procesos. Esta oxidación puede ser *anaerobia*, si se realiza en ausencia de oxígeno, o *aerobia*, cuando se produce en presencia de este gas. La respiración propiamente dicha corresponde a la segunda modalidad, mientras que la primera no es más que la *fermentación*, realizada por ciertos microorganismos (levaduras o bacterias) que carecen de las enzimas necesarias para efectuar la función orgánica que estudiamos. Importantes producciones industriales, como la panificación y la fabricación de quesos y yogures, se basan en esta fermentación y cada una de ellas tiene levaduras muy específicas.

La energía liberada por la respiración recarga el A. D. P. y lo convierte en A. T. P., que, al perder un enlace, desprende energía, inmediatamente aprovechable en forma de calor, contracciones musculares y síntesis de polisacáridos y proteínas. Este proceso puede representarse de forma gráfica así :



Además de las mencionadas anteriormente, existen otras diferentes maneras para liberar energía, como las realizadas mediante reacciones catabólicas, a partir de la degradación de las grasas o de la glucosa. Si se catabolizan las grasas, el proceso comienza por las lipasas, enzimas que hidrolizan la molécula grasa inicial, produciéndose una escisión en ácidos grasos y glicerina. Cuando los compuestos iniciales son carbohidratos como, por ejemplo, los polisacáridos, la primera etapa consiste en hidrolizarlos para obtener monosacáridos. El principal de estos últimos es la glucosa. En todas estas reacciones intervienen las correspondientes enzimas especializadas, como se puede comprobar en el gráfico siguiente :

ALMIDÓN —amilasa→ AMILODEXTRINA →
(dextrinasa)
ERITRODEXTRINA → ACRODEXTRINA →
(dextrinasas)
MALTASA → GLUCOSA
(maltasas)

Los prótidos tienen también procesos metabólicos distintos si se parte de compuestos inorgánicos, poseedores de nitrógeno, u orgánicos. En ambos casos, el proceso se inicia con los aminoácidos, verdaderas unidades constitutivas de las proteínas, puesto que con una misma proporción de los mismos se pueden obtener varias proteínas diferentes, con sólo variar el orden sucesorio específico que tienen. La desintegración de los prótidos puede representarse de la siguiente manera :

PRÓTIDO → METAPROTEÍNA (o sintonina) → ALBUMOSAS (o proteosas) →
PEPTONAS → POLIPÉPTIDOS → AMINOÁCIDOS

El proceso inverso (síntesis) se produce únicamente dentro del protoplasma y se debe a la acción de los ribosomas, mitocondrias y microsomas.

Nivel orgánico o pluricelular

Histología

Tejidos animales : Clasificación. Sistema epitelial. Sistema conectivo. Sistema contráctil. Sistema nervioso. De la célula al sistema.

La *Histología*, llamada también *Anatomía microscópica*, es la ciencia que estudia los tejidos (agrupaciones celulares con fines funcionales) de los seres, vegetales o animales. Se subdivide, por consiguiente, en dos ramas : *Histología vegetal* e *Histología animal*. Se considera que el verdadero fundador de esta ciencia fue el médico francés Xavier BICHAT (1771-1802).

El *tejido*, según Ramón y Cajal, cuya aportación al conocimiento de los que constituyen el sistema nervioso fue fundamental, se define como « una masa orgánica formada por la asociación, en un orden constante, de células con propiedades estructurales, fisiológicas y químicas semejantes ». Se puede decir, por tanto, que su formación no es más que la consecuencia de una división del trabajo fisiológico. Se describirán a continuación los tejidos animales y se estudiarán los vegetales en el capítulo dedicado a la Botánica.

TEJIDOS ANIMALES

Clasificación. — Para el estudio sistemático de los *tejidos animales* se han propuesto varias clasificaciones, ninguna de las cuales ha sido aceptada universalmente. Las dos principales se basan en consideraciones de tipo funcional y morfológico. La *clasificación funcional* agrupa los tejidos en cuatro sistemas, cada uno con distintas modalidades según el papel que desempeñan en el organismo :

Sistema epitelial	epitelial normal : reviste y protege epitelial glandular : secretor
Sistema conectivo	conjuntivo : de unión adiposo : de reserva y unión cartilaginoso : de sostén o soporte óseo : del esqueleto
Sistema contráctil	muscular : para los movimientos
Sistema nervioso	nervioso : receptor y transmisor de estímulos y reacciones

La *clasificación morfológica* se basa en el grado de modificación de las células y en el estado de la materia intercelular, que puede ser líquido, semisólido o sólido. Con arreglo a ambas consideraciones, se establecen dos grandes grupos de tejidos :

Células muy modificadas		muscular nervioso
Células poco modificadas	Materia intercelular líquida	sangre linfa
	Materia intercelular semisólida	conjuntivo adiposo
	Materia intercelular sólida	cartilaginoso óseo
	Sin materia intercelular	epitelial

Sistema epitelial. — En este sistema se encuentran, según la clasificación funcional, los tejidos epitelial y glandular. El **tejido epitelial** está compuesto por células, casi carentes de sustancia intercelular, que revisten el exterior del cuerpo y las cavidades internas y tienen formas predominantemente geométricas, aplanadas (epitelial pavimentario) o alargadas (epitelial prismático). El **tejido glandular,** modalidad del anterior, está formado por células secretoras de forma cuboide y tapiza ciertos órganos secretores, que pueden ser glándulas abiertas o exocrinas, como es el caso del páncreas, y glándulas cerradas o endocrinas, de secreción interna.

Sistema conectivo. — En este sistema, el **tejido conjuntivo,** cuya variedad fibrosa constituye los tendones, une, refuerza y envuelve los órganos. Tiene células fijas, en forma de estrella, y otras de acción fagocitaria, hallándose todas inmersas en una sustancia intercelular semilíquida, en la que se encuentran fibras elásticas y colágenas de trama reticular y contextura propia. El **tejido adiposo,** escaso en fibras y rico en adipoblastos (células cargadas de grasa), está localizado en el tuétano óseo y en el panículo adiposo, donde desempeña la función de reserva. El **tejido cartilaginoso,** con una materia intercelular uniformemente elástica, flexible y sólida, está compuesto por células ovaladas que se agrupan en oquedades; en el hombre forma las « ternillas » de la nariz y orejas, mientras que en los tiburones y rayas constituye el esqueleto. El **tejido óseo,** constituido por sales minerales de calcio y fósforo que impregnan una sustancia intercelular *(osteína)* dispuesta en formas laminares más o menos concéntricas, tiene una consistencia pétrea y las células que lo componen, llamadas *osteoblastos*, se alojan en cavidades (lagunas óseas) comunicadas por finos conductos calcóforos. Existen dos variedades : el esponjoso y el compacto.

Sistema contráctil. — El *sistema contráctil* está integrado por el **tejido muscular,** cuya función propia es la de permitir los movimientos, y que, según el aspecto del protoplasma, se divide en *liso*, para las contracciones involuntarias y lentas, y *estriado*, para las contracciones voluntarias y bruscas. Este tejido está formado por *miofibrillas*, células largas, que son uninucleares en la modalidad lisa y multinucleares en la estriada. En ambos casos, las miofibrillas están rodeadas por una fina vaina conjuntiva que, al reunirse con otras vainas, constituye los tendones.

Sistema nervioso. — El **tejido nervioso,** que rige y regula las funciones de los órganos y del cuerpo en general, es el tejido más especializado y diferenciado de todos. Está formado pour neuronas, fibras nerviosas y células neuróglicas. Las *neuronas* tienen un núcleo y un citoplasma con prolongaciones arborescentes *(dendritas)*, entre las cuales la más larga y menos ramificada lleva el nombre de *axón*, *neurita* o *cilindroeje*. Se dividen, según el número de prolongaciones que se entrecruzan formando una red, en *monopolares*, *bipolares* o *multipolares*. Las *fibras nerviosas* son esencialmente conductoras de impulsos nerviosos, gracias a la acción de los cilindroejes neuronales cubiertos de *mielina*. La asociación de fibras y neuronas constituye los nervios o

cordones nerviosos, con funciones sensitivas o motoras, y los cuerpos celulares de unas u otras forman la *sustancia blanca* y la *sustancia gris* respectivamente. Las *células neurógliças* o *glías* tienen una estructura estrellada, con abundantes expansiones multidivergentes, que se entrecruzan con otras muchas semejantes.

La sangre y la *linfa* no se incluyen entre estos tejidos, a pesar de haberse señalado en la clasificación morfológica, porque algunos científicos, dada la poca cantidad de elementos celulares que contienen en comparación con el volumen en el cual éstos se encuentran inmersos, no las consideran como tales y prefieren estudiarlas con los líquidos o humores orgánicos.

De la célula al sistema. — Las *células* de un organismo pluricelular, unidas para realizar un acto fisiológico específico y dotadas de una estructura determinada, constituyen un *tejido*. La reunión de distintos tejidos da lugar al *órgano*, cuya operación es el *acto*. Varios órganos forman un *aparato*, que desempeña una *función* particular. Y el conjunto de órganos y aparatos se llama *sistema*.

Los organismos pluricelulares proceden de una célula inicial, de excepcionales cualidades proliferativas, capaz de engendrar multitudes celulares considerables que se asocian, coordinan o especializan en sus actividades hasta formar unos tejidos, que son funcional y morfológicamente diversos. Aquéllos transmiten ciertas potencialidades a sus descendientes que, a partir también de una célula inicial, van a repetir el mismo proceso. El estudio de estas posibilidades biológicas y de su realización constituye el objeto de la Herencia y la Genética.

Herencia y Genética

Los genes. — Genética mendeliana : Monohibridismo. Leyes de Mendel. Determinación sexual. Herencia de factores ligados al sexo. Mutaciones. — Genética bacteriana : Reproducción bacteriana. — Genética humana : Acromatopsia, daltonismo y hemeralopia. Albinismo, hemofilia y alcaptonuria. Epilepsia e idiocia. Herencia de los grupos sanguíneos. Factor « Rh ». Genética de poblaciones.

Se define la *herencia* como la propiedad que tienen los seres vivos de parecerse a aquellos que los engendraron. La transmisión de los caracteres biológicos de padres a hijos, que implica ciertos fenómenos y normas, constituye el objeto del estudio de la *Genética*. La herencia es posible gracias a los *gametos* (células reproductoras), verdaderos portadores de los caracteres transmisibles. Estos últimos pueden ser *específicos*, es decir, propios de una especie biológica o conjunto de individuos procedentes de un origen común capaces de reproducirse entre sí de modo indefinido. Los caracteres *raciales* son accidentales y transmisibles por herencia. Cuando se procede al cruce entre individuos (vegetales o animales) de distintas razas o especies, se llega a la *hibridación*. Existen asimismo las llamadas *mutaciones*, que llevan consigo la variación de un gen, la modificación de la estructura del cromosoma, desplazando los genes en el mismo, y el aumento de la dotación cromática.

Los genes. — Los caracteres son potencialmente transmisibles por factores hereditarios localizados en corpúsculos submicroscópicos llamados *genes*. El *gen* o *gene* se define como « la unidad de material hereditario » y precisamente a él se debe la semejanza entre organismos descendientes de progenitores comunes. Los genes están incluidos en los cromosomas y tienen una estructura química que consiste en una molécula de ácido nucleico en cadena cuyos eslabones son cuatro nucleótidos distintos. Se llama *genotipo* al conjunto de genes de un individuo o a la suma de factores hereditarios del mismo y *fenotipo* a la manifestación externa de los caracteres correspondientes.

La Genética, hasta los estudios de Mendel publicados en 1866, fue empírica y se limitó a una serie de suposiciones. Pero, desde entonces, ha alcanzado un verdadero rigor científico y las investigaciones efectuadas en esta especialidad se han desarrollado mucho.

GENÉTICA MENDELIANA

El austriaco Johann Gregor **Mendel** (1822-1884) eligió, para llegar a unos resultados claros y convincentes, plantas de caracteres opuestos que cruzó de tres maneras diferentes : las que diferían en un par de caracteres *(monohíbridos)*, en dos pares de caracteres *(dihíbridos)* y en más de dos pares de caracteres *(polihíbridos)*.

Monohibridismo. — Para realizar este trabajo experimental, Mendel utilizó dos variedades de guisantes, una con semillas rugosas y otra con semillas lisas. Trató de obtener una línea pura siguiendo el desarrollo a lo largo de varias generaciones hasta comprobar que las semillas mostraban igual variedad indefinidamente. Al cruzar, mediante fecundación artificial, dos variedades puras, este botánico obtuvo siempre semillas uniformes y llegó a la conclusión de que éstas, en la primera generación (F_1), son lisas y se asemejan a uno de los progenitores, mientras desaparece el carácter rugoso del otro. Sembró luego las semillas lisas híbridas de la primera generación y, cuando las flores se autofecundaron, logró una segunda generación (F_2). Llevó a cabo este experimento repetidas veces y los resultados constantes le convencieron de que en esta segunda generación se consigue un 75 por ciento de semillas lisas y un 25 por ciento de rugosas. Llamó *dominante* al carácter liso, de aparición más frecuente, mientras que al rugoso lo denominó *recesivo*, por hallarse latente y menos visible. Continuó el experimento y obtuvo híbridos F_3, hijos de las semillas F_2. Todos los resultados le permitieron formular unos principios e intuir la existencia de una sustancia transportadora de caracteres hereditarios, localizada en los gametos del guisante.

Leyes de Mendel. — De los experimentos anteriormente descritos y de otros muchos que Mendel realizó en relación con el dihibridismo, nacieron tres principios, conocidos como *Leyes de Mendel*, que se enuncian del siguiente modo :

1.º Todos los híbridos de la primera generación son uniformes, es decir, tienen igual genotipo y fenotipo.

2.º Los genes antagónicos nunca se transmiten juntos, sino separados.

3.º En la segunda generación, los híbridos son desiguales, pero la mitad de ellos son tipos puros.

La aplicación de estos principios a la hibridación ha sido muy beneficiosa, sobre todo al asociarlos a la

selección, y se han logrado razas vacunas de gran rendimiento cárnico o lácteo, nuevas razas de gallinas ponedoras y ovejas que han incrementado en mucho la producción de lana. Dentro del mundo vegetal pueden citarse asimismo los aumentos en la producción de trigo, maíz, arroz, soja, etc., con notable mejora de la calidad, gracias a la hibridación y selección debidamente combinadas.

Determinación sexual. — La Genética mendeliana ha contribuido a un mejor conocimiento de la determinación sexual basándose en que, si los cromosomas del óvulo y del espermatozoide transmiten a la descendencia caracteres biológicos, deben poseer genes portadores del sexo. En las células masculinas y femeninas, además de los cromosomas normales (de número haploide *n* y diploide *2n*), hay un par de *heterocromosomas* o cromosomas sexuales, que son distintos del resto de las parejas de cromosomas homólogos, conocidos como *autosomas*. Teniendo en cuenta que XX es la fórmula general de los cromosomas femeninos, y XY la de los masculinos, resulta que todos los óvulos tienen un heterocromosoma X, mientras que los espermatocitos pueden llevar un heterocromosoma Y o uno X. Por lo tanto, al realizarse la fecundación, pueden surgir las siguientes combinaciones :

Óvulo X con espermatocito Y da cigoto XY (macho).
Óvulo X con espermatocito X da cigoto XX (hembra).

Esto puede exponerse gráficamente de la siguiente manera :

♂ XY — E : X, Y — ♀ XX $\frac{1}{2}$

XX ♀ — O : X — XY ♂ $\frac{1}{2}$

siendo E = espermatocitos; O = óvulo; ♂ = macho y ♀ = hembra.

Así se demuestra lo que se suele observar en la realidad, es decir, que el número de machos y hembras viene a ser el mismo, puesto que existe idéntica probabilidad de que se produzca una u otra combinación.

Herencia de factores ligados al sexo. — Gracias a la Genética mendeliana, se sabe asimismo que existe una relación entre el sexo y algunas cualidades heredadas. Los heterocromosomas, además de los genes determinantes del sexo, llevan otros que actúan sobre cualidades sin relación alguna con la sexualidad, lo que permite deducir que la herencia de tales cualidades guarda estrecha vinculación con el sexo. Así ocurre con el *daltonismo* y la *hemofilia*, anomalías debidas a genes recesivos, que se estudiarán más adelante en la Genética humana.

Mutaciones. — El material genético es muy estable y se suele transmitir a lo largo de las generaciones sin sufrir modificación alguna. Éste, no obstante, experimenta a veces unos cambios bruscos que reciben el nombre de *mutaciones*, la mayoría de las cuales son génicas, o sea de genes individuales, aunque también pueden ser cromosómicas y genómicas (cuando aumenta la dotación cromática). Cabe considerar como mutación una modificación súbita en una pequeña proporción de la cadena del A. D. N. cromosómico. En la actualidad pueden originarse, como se hace experimentalmente, mediante irradiaciones con rayos X, rayos gamma, neutrones, etc.

Relativo a la especie humana, se calcula que, de cada millón de gametos, 30 causan microcefalia, 32 hemofilia y 28 albinismo. Sin embargo, en la realidad se registran cifras inferiores, ya que la mayoría de esas anomalías se deben a genes letales y recesivos.

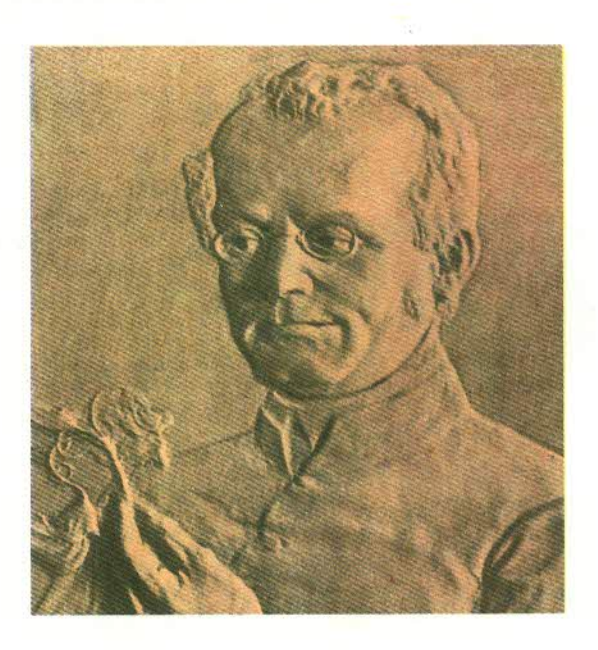
GENÉTICA BACTERIANA

Casi todas las bacterias, al tener una sola dotación cromosómica, se comportan como gametos haploides, lo que excluye los caracteres de dominancia y recesividad propios de los diploides. En estos microorganismos, cada gen controla determinados caracteres hereditarios. Si se produce el fenómeno poco frecuente de una mutación, ésta se estudia fácilmente ya que se pueden lograr numerosísimas poblaciones bacterianas (del orden de 10^8 ó 10^{10} individuos en un determinado medio de cultivo) y aislar el mutante por procedimientos selectivos. Además, la sencillez estructural de estos seres (bacterias y virus) permite observarlos a nivel molecular y, gracias a la rapidez reproductiva, pueden sacarse conclusiones estadísticas muy exactas al disponerse de un número muy grande de descendientes. Algunas bacterias, por ejemplo, dan treinta generaciones en un período de 15 horas y los descendientes de éstas pueden alcanzar hasta 900 millones de células hijas.

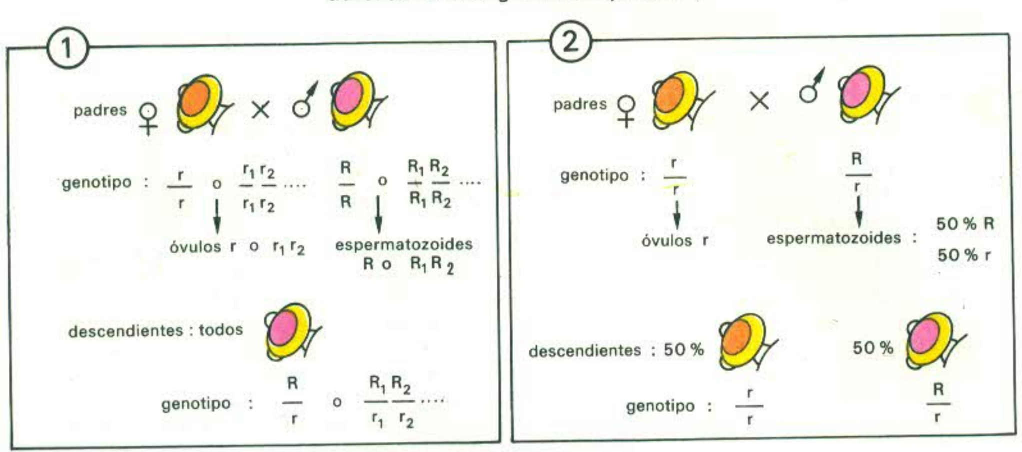
Se llama *clono* a los descendientes asexuales de una bacteria, que son genéticamente idénticos y que tienen reacciones diversas según los colorantes. El crecimiento experimental de uno de ellos sobre una placa de agar (sustancia mucilaginosa) puede evidenciar cambios de tamaño en función del tiempo.

Reproducción bacteriana. — Las bacterias suelen reproducirse asexualmente ya sea por amitosis o por fisión binaria. La reproducción puede verse afectada genéticamente por la *transducción*, si la transferencia génica se hace de una bacteria a otra mediante un virus, o por la *transformación*, cuando las moléculas del A. D. N. de una cepa bacteriana son absorbidas por otra.

J. G. Mendel, botánico austriaco que, al formular las leyes de la hibridación, sentó las bases de la Genética.



Genética de los organismos diploides.



3

herencia debida al sexo

♀ × ♂ padres

primera generación ♂ × ♀ descendientes

1.° caso

segunda generación

♂ 50 % | 50 % ♀

♂ 50 % | 50 % ♀

genotipo de los padres ♀ $\frac{X_r}{X_r}$ × ♂ $\frac{X_R}{Y}$

esquema explicativo

óvulos X_r — espermatozoides 50 % X_R, 50 % Y

fenotipo y genotipo de la 1ª generación: hijas $\frac{X_r}{X_R}$ × hijos $\frac{X_r}{Y}$

segunda generación

espermatozoides

óvulos	50 % X_r	50 % Y
50 % X_r	$\frac{X_r}{X_r}$	$\frac{X_r}{Y}$
X_R 50 %	$\frac{X_R}{X_r}$	$\frac{X_R}{Y}$
	nietas	nietos

2° caso

segunda generación

♂ 62,5 % | 62,5 % ♀

♂ 37,5 % | 37,5 % ♀

genotipo de los padres ♀ $\frac{X_r}{X_r}\ \frac{A_r}{A_r}$ × ♂ $\frac{X_R}{Y}\ \frac{A_R}{A_R}$

óvulos $X_r\ A_r$

espermatozoides
50 % $X_R\ A_R$
50 % $Y\ A_R$

esquema explicativo

fenotipo y genotipo de la 1ª generación

hijas $\frac{X_r}{X_R}\ \frac{A_r}{A_R}$

hijos $\frac{X_r}{Y}\ \frac{A_r}{A_R}$

segunda generación

óvulos \ espermatozoides	25 % $X_r\ A_r$	25 % $X_r\ A_R$	25 % $Y\ A_r$	25 % $Y\ A_R$
25 % $X_r\ A_r$	$\frac{X_r}{X_r}\ \frac{A_r}{A_r}$	$\frac{X_r}{X_r}\ \frac{A_r}{A_R}$	$\frac{X_r}{Y}\ \frac{A_r}{A_r}$	$\frac{X_r}{Y}\ \frac{A_r}{A_R}$
25 % $X_r\ A_R$	$\frac{X_r}{X_r}\ \frac{A_R}{A_r}$	$\frac{X_r}{X_r}\ \frac{A_R}{A_R}$	$\frac{X_r}{Y}\ \frac{A_R}{A_r}$	$\frac{X_r}{Y}\ \frac{A_R}{A_R}$
25 % $X_R\ A_r$	$\frac{X_R}{X_r}\ \frac{A_r}{A_r}$	$\frac{X_R}{X_r}\ \frac{A_r}{A_R}$	$\frac{X_R}{Y}\ \frac{A_r}{A_r}$	$\frac{X_R}{Y}\ \frac{A_r}{A_R}$
25 % $X_R\ A_R$	$\frac{X_R}{X_r}\ \frac{A_R}{A_r}$	$\frac{X_R}{X_r}\ \frac{A_R}{A_R}$	$\frac{X_R}{Y}\ \frac{A_R}{A_r}$	$\frac{X_R}{Y}\ \frac{A_R}{A_R}$
	nietas		nietos	

Las bacterias se desarrollan en colonias que adoptan generalmente aspectos particulares si se ponen en ciertos medios de cultivo. Gracias a este fenómeno, se puede estudiar el metabolismo de aquéllas y comprobar que varía en función de la composición del medio.

GENÉTICA HUMANA

Cada especie animal o vegetal tiene un número constante e invariable de cromosomas, llamado *número específico*. Para la raza humana éste es de 46, o sea, 23 pares, de los cuales 22 son autosomas y uno gonosoma o heterocromosoma (la pareja número 23, precisamente). En la mujer hay dos gonosomas X iguales (XX =♀), mientras que en el varón hay un cromosoma grande X y uno pequeño Y (XY =♂).

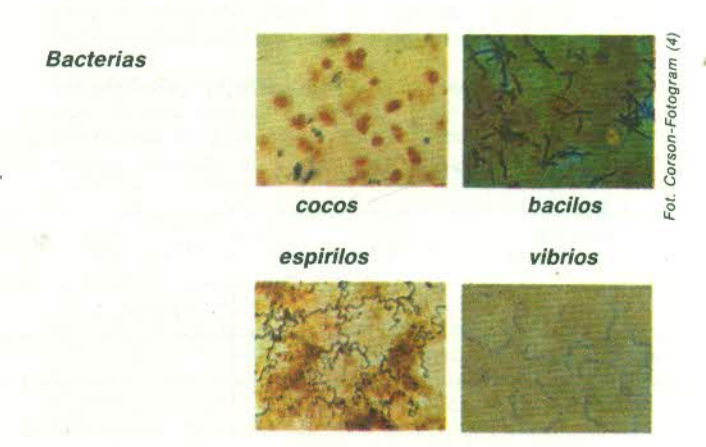
Mientras las genéticas animal y vegetal han experimentado un desarrollo considerable, la humana sólo ha progresado lentamente, porque se fundamenta en principios que son menos exactos y rigurosos que en los otros casos. Además, la investigación tropieza con toda una serie de dificultades como, por ejemplo, los enlaces consanguíneos, las complicadas fórmulas raciales, la fecundidad muy limitada y las reservas personales existentes ante este tipo de estudio.

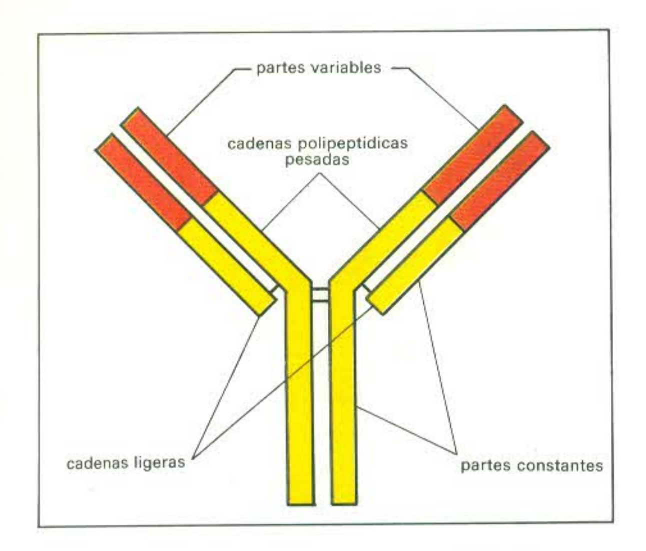
Se tratará a continuación la herencia de ciertas anomalías, dada la gravedad y peligro que tienen y las secuelas que estas alteraciones patológicas producen en el individuo.

Acromatopsia, daltonismo y hemeralopia. — La **acromatopsia** consiste en la incapacidad de distinguir los colores y suele ser muy poco frecuente en forma total. Se debe esencialmente a defectos genético-funcionales de los conos retinianos especializados en la percepción cromática. Para el que sufre esta anomalía solamente existen el negro, el gris y el blanco.

El **daltonismo** se manifiesta principalmente por la confusión entre el rojo y el verde y afecta al 4 por ciento

Bacterias





Esquema de una molécula de anticuerpo.

de los varones y al 0,5 por ciento de las mujeres. Para que un hombre o una mujer sean daltónicos es necesario que el único o los dos cromosomas X que poseen respectivamente lleven el gen portador de este defecto.

La incapacidad de adaptar la retina a la oscuridad recibe el nombre de **hemeralopia.** Se debe a un defecto genético que impide sintetizar la púrpura retiniana, es decir, el pigmento fotosensible de los bastones, que son los elementos especializados en la percepción de la intensidad luminosa.

Albinismo, hemofilia y alcaptonuria. — El **albinismo** es un defecto congénito que se caracteriza por la falta de pigmentación del individuo debida a la incapacidad de éste en sintetizar la melanina. Los albinos tienen el pelo, la piel y el vello de color blanco y el iris del ojo enrojecido.

La **hemofilia** consiste en la imposibilidad de coagular la sangre y se produce exclusivamente en los varones, cuyas hijas, aunque no la padezcan, la pueden transmitir a la mitad de los nietos varones que tengan. Las mujeres no se ven afectadas por esta enfermedad porque la suma de dos genes hemofílicos tiene carácter letal y no permite, por tanto, la formación de un embrión viable. Los hemofílicos corren el peligro de sufrir hemorragias incoercibles. Esta anomalía puede encontrarse también en el perro.

Las personas aquejadas de **alcaptonuria** u **orina negra** tienen oligofrenia fenilpirúvica, producida por un gen recesivo que hace que la tirosina se acumule y se expulse posteriormente en forma de ácido fenilpirúvico.

Epilepsia e idiocia. — La **epilepsia** propiamente dicha se atribuye a la mutación de un gen normal, que se puede heredar con carácter recesivo, y se manifiesta por una alteración psíquica seguida de ataques convulsivos. Existe también otra clase de epilepsia denominada *sintomática* que no se produce por causas génicas.

La **idiocia mongoloide** consiste en una grave deficiencia mental, propia del *mongolismo*, provocada por la existencia de un cromosoma suplementario en la pareja número 21, que, en vez de ser doble, es triple. El mongólico posee, por consiguiente, 47 cromosomas, en lugar de los 46 que constituyen la dotación normal de un ser humano. Se trata de una enfermedad genética, pero no hereditaria, de causas desconocidas. Provoca la muerte de los que la padecen a una edad muy inferior a la del individuo normal.

Herencia de los grupos sanguíneos. — Desde que se observó, a raíz de las primeras transfusiones, que los *hematíes* o *glóbulos rojos* se aglutinan rápidamente si se mezcla sangre de personas pertenecientes a diferentes grupos sanguíneos, se ha estudiado con especial interés todo lo referente a la influencia de la herencia en estos grupos. Existe una incompatibilidad debida a la presencia en los hematíes de una sustancia que se puede aglutinar bajo los efectos de otra contenida en el plasma. Los hematíes pueden tener dos tipos de *aglutinógenos* (antígenos capaces de provocar la formación de anticuerpos) específicos (A y B) o una combinación de ambos o estar desprovistos de ellos. A cada aglutinógeno corresponde una *aglutinina*, es decir, un anticuerpo con la posibilidad de aglutinar los glóbulos rojos portadores del antígeno específico correspondiente. Nunca el mismo individuo posee el mismo tipo de aglutinógeno y de aglutinina.

Los aglutinógenos A y B se sintetizan y dependen de tres genes alelos, es decir, que tienen función idéntica pero efectos distintos y que ocupan el mismo lugar en dos cromosomas homólogos : L^A y L^B, productores, respectivamente, de los antígenos A y B, y *l*, que es inactivo. Como cada gameto humano contiene uno o dos de estos alelos, cada individuo puede tener uno de ellos en combinación o en duplicación con cualquiera de los otros dos. De tal modo que *l* es recesivo en sus dos alelos, mientras que los genes L^A y L^B son equipotentes.

Para comprender la genética de los grupos sanguíneos se puede considerar un caso supuesto a fin de averiguar la paternidad, lo cual reviste sumo interés médico-legal. Si se trata, por ejemplo, de un hombre del grupo sanguíneo B_o, con genotipo $L^B 1$ (híbrido), y de una mujer de grupo sanguíneo A_B, con genotipo $L^A 1$ (híbrido), se obtendrán los resultados siguientes :

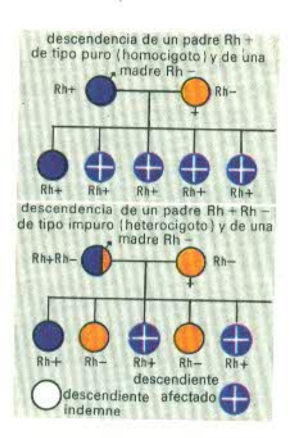
		♂			♀	
PADRES		B_α / $L^\beta 1$	cruce con		A_B / $L^A 1$	
GAMETOS		L^B	1	L^A	1	
HIJOS	genotipos	L^A L^B	$L^A 1$	1 L^B	1 1	
	grupos sanguíneos	A B_0	A_β	B_α	$O_{\alpha B}$	

Esta conclusión se basa en la genética de los cuatro principales grupos sanguíneos del hombre. En el cuadro dado a continuación se completan las correspondencias respectivas entre aglutininas, fenotipos y genotipos :

GRUPOS SANGUÍNEOS	AGLUTINÓGENOS	AGLUTININAS	ANTÍGENOS DE HEMATÍES	FENOTIPOS	GENOTIPOS
A B_o	A y B	ninguna	A y B	A B	L^A L^B
Aβ	A	b	A	A	L^A L^A y L^A 1
Bα	B	a	B	B	L^B L^B y L^B 1
Oαβ	ninguno	a y b	ninguno	O	1 1

Factor « Rh ». — El *factor « Rh »* o *factor Rhesus* es un importante aglutinógeno cuyo gen determinante se transmite con carácter de dominancia. Si se inyecta sangre de personas con Rh positivo en individuos de Rh negativo, surge en estos últimos un factor « anti-Rh », lo cual no tiene importancia la primera vez que se hace, pero que origina una aglutinación de peligrosas consecuencias si se repite la transfusión. El signo positivo o negativo del Rh es también fundamental para el matrimonio, ya que el Rh paterno o materno puede provocar abortos o hacer que aparezcan malformaciones fetales en caso de incompatibilidad.

Genética de poblaciones. — La Genética de poblaciones está relacionada con la herencia y sus principales factores residen en la reproducción y en la evolución.



El factor Rhesus, descubierto por los hematólogos Landsteiner y Wiener, tiene gran importancia en la técnica de las transfusiones y en la patología del recién nacido.

Reproducción

Regeneración. — Reproducción asexual. — Reproducción sexual : Células somáticas y germinales. Tipos de reproducción sexual. *Metagénesis. Partenogénesis. Hermafroditismo. Fecundación.* Desarrollo del huevo.

Puede definirse la *reproducción* como el proceso biológico que tiene como finalidad la aparición de una nueva generación de individuos de una misma especie, animal o vegetal, idénticos a sus progenitores, pero separados por completo de los mismos y con posibilidad de desarrollar una vida total y plenamente independiente.

Se exponen a continuación los principales tipos de reproducción.

REGENERACIÓN

Una vez formados los órganos y miembros, es interesante observar cómo el desgaste continuo que sufren las células es regenerado por otras que las sustituyen. Esto es particularmente visible en las células epidérmicas. A veces esta capacidad es tan intensa que puede llegar incluso a completar miembros u órganos enteros, como ocurre con las patas del cangrejo o si se corta a la lombriz un fragmento. En algunas ocasiones llegan a confundirse la reproducción y la regeneración. Los vegetales son los que tienen mayores posibilidades regenerativas *(multiplicación vegetativa)*, lo que permite, por ejemplo, que a partir de un tallo de geranio se pueda regenerar la planta completa.

REPRODUCCIÓN ASEXUAL

La reproducción es *asexual* cuando el descendiente procede de un único progenitor. Se presenta en dos modalidades : por gemación o por esporas.

Se habla de **reproducción por gemación** cuando los nuevos seres surgen de las yemas o protuberancias que salen del cuerpo del organismo progenitor. Una vez formados, suelen separarse y comenzar una vida independiente. No obstante, a veces siguen unidos al tronco original y constituyen entonces unas *colonias* de centenares y aún millares de individuos, como es el caso entre los celentéreos y los espongiarios.

La **reproducción por esporas** es propia de algunos vegetales inferiores, como las algas y los hongos. La espora, célula con membrana protectora resistente que evita la desecación citoplasmática, es engendrada asexualmente (sin fecundación) en los esporangios y se difunde y dispersa luego por el aire o el agua.

REPRODUCCIÓN SEXUAL

Se dice que la reproducción es *sexual* cuando el individuo hijo procede del cigoto, o huevo fecundado, es decir de la célula formada por los gametos paterno y materno unidos *(singamia)*, por lo que se denomina también *singámica*, por oposición a la asexual que recibe el nombre de *agámica* o *vegetativa*.

Células somáticas y germinales. — En todos los seres pluricelulares hay dos clases de células : las *somáticas*, que se multiplican sin separarse del organismo, y las *germinales*, que lo hacen fuera del organismo originando así seres de la misma especie. De estas células germinales proceden los gametos masculinos (♂) y femeninos (♀). Si éstos son idénticos, la unión de ambos recibe el nombre de *isogamia;* cuando difieren en tamaño, lo que ocurre frecuentemente, se denomina *heterogamia;* y si uno de ellos se desarrolla mucho, mientras que el otro se reduce, se habla de *oogamia*.

Los gametos se forman en órganos sexuales, llamados *gónadas* en los animales y *gametangios* en los vegetales. Los gametos animales masculinos y femeninos son los *espermatozoides* y los *óvulos* respectivamente, denominados en el mundo vegetal *anterozoides* y *oosferas*. Hay, según la reproducción sexual, tres tipos de individuos : los *hermafroditas*, productores de microgametos y macrogametos, los *femeninos*, que solamente dan macrogametos, y los *masculinos*, que engendran microgametos.

Tipos de reproducción sexual. — Existen varios tipos de reproducción sexual : metagénesis, partenogénesis, hermafroditismo y fecundación.

Metagénesis. — Se llama *metagénesis* si en el ciclo evolutivo completo de ciertos vegetales concurren las reproducciones sexual y asexual. Cuando este proceso sucede en forma alternante se le da también los nombres de *alternancia de generaciones* o *reproducción alternante*. El *esporofito* y el *gametofito*, que producen esporas en las fases asexual y sexual respectivamente, son otros dos tipos de individuos morfológicamente distintos. La metagénesis es menos frecuente en los animales (pólipos y medusas) que en los vegetales (helechos y musgos).

Partenogénesis. — Cuando el óvulo se desarrolla sin ser previamente fecundado por el espermatozoide, se dice que hay *partenogénesis*. Ésta, según la dotación cromosómica de los óvulos que sufren este fenómeno, puede ser diploide o haploide, y existen distintas variedades : la **cíclica,** propia de algunos insectos, como los pulgones, en los que los huevos, fecundados en otoño, eclosionan en primavera, dando la primera generación de hembras partenogenéticas, a la que suceden otras varias durante la primavera y verano; la **facultativa,** típica de insectos sociales, como las hormigas y abejas, en las que los huevos de la reina, al llegar la puesta, dan obreras o reina, si están fecundados, o machos, si no lo están; y la **experimental,** provocada intencionadamente mediante soluciones salinas, punciones ovulares, etc.

Hermafroditismo. — El *hermafroditismo* consiste en la existencia en un mismo individuo de los dos sexos, que intervienen fecundándose mutuamente. Este tipo de reproducción es frecuente en muchas flores y en algunos animales inferiores, como las lombrices y los moluscos. Puede darse también de forma incompleta en animales superiores, incluso en el ser humano, pero en este caso representa una anomalía.

Fecundación. — La *fecundación*, unión de los gametos masculino y femenino para dar un cigoto o célula huevo, es la reproducción sexual propiamente dicha o *singamia*. Entre ésta y la formación de los gametos se produce un par de divisiones celulares que tienen por objeto reducir a la mitad el número de cromosomas, los cuales dejan de ser diploides para convertirse en haploides. Ambas divisiones o meiosis reciben el nombre de *espermatogénesis* u *ovogénesis*, según tengan lugar en las gónadas masculinas (testículos) o femeninas (óvulos). Al final de la ovogénesis surge un óvulo que, además del núcleo, contiene *vitelo* nutritivo o de reserva y vitelo germinativo.

Los óvulos se dividen en varios tipos según la proporción de vitelo nutritivo que tienen.

Los *centrolecitos* poseen vitelo germinativo periférico y vitelo nutritivo central. Como este último es escaso y se agota pronto, los insectos hijos, cuando eclosionan después de la fecundación, empiezan una vida larvaria y para transformarse en un animal joven sufren un cambio brusco, llamado *metamorfosis*.

Los *alecitos*, de reducido vitelo nutritivo, se encuentran en los mamíferos y, para tener mayor protección y aporte nutritivo al ser fecundados, originan un órgano gestante auxiliar, denominado *placenta*, que se expulsa en el parto después de haber sido terminada la gestación.

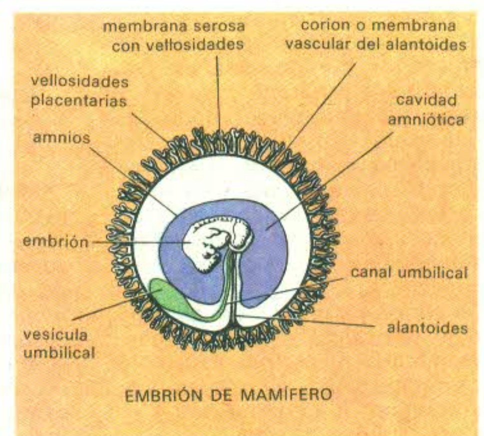
Los *telolecitos*, propios de las aves, son ricos en vitelo nutritivo en posición polar. Una vez fecundados, y tras un período de incubación, producen individuos perfectamente formados que, por simple crecimiento, llegarán a la madurez.

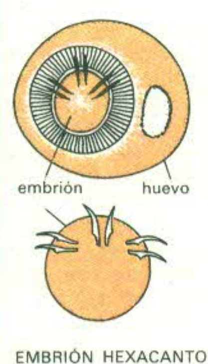
Desarrollo del huevo. — Tras la fecundación viene el desarrollo del *huevo* o *cigoto*, que ya es una célula diploide con el número de cromosomas (2n) propio de la especie. A partir de este momento, el huevo recibe el nombre de *embrión* y ha de atravesar distintas fases. La primera es la *mórula*, cuyo nombre deriva del aspecto de mora tomado por el conjunto de células no diferenciadas que aparece después de una serie de divisiones. Le sigue la *blástula*, pequeña esfera con una cavidad central o *blastocele*, rodeada por células creadas por un activo proceso de mitosis que hace aumentar progresivamente el volumen total y forma una especie de vesícula. Se llega, finalmente, a la *gástrula*, originada por la invaginación de la pared de la blástula que, replegándose hacia el interior, forma una cavidad interna o *arquenterón*. Éste, por medio de un *blastoporo* o boca inicial, comunica con el exterior y se constituye entonces un saco de dobles paredes provisto de dos hojas. La que ocupa una posición externa se llama *ectodermo*, y *endodermo* la que está en la parte interna. Ambas hojas formarán el *mesodermo* y darán origen posteriormente a los distintos aparatos orgánicos de los vertebrados, como puede apreciarse en el esquema siguiente :

EL ECTODERMO ORIGINARÁ	Epidermis y sus glándulas Extremos intestinales (anterior y posterior) Sistemas nervioso y sensorial
EL ENDODERMO ORIGINARÁ	Epitelio Glándulas digestivas Pulmones Tiroides
EL MESODERMO ORIGINARÁ	Sistemas muscular y esquelético Sistemas circulatorio y renal Gónadas Dermis

Una vez nacido el individuo, se inicia la fase de *desarrollo* con las etapas infantil, juvenil, adulta y senil. El término de todo el proceso reseñado será la muerte.

El embrión, creado por el cigoto o huevo fecundado cuando se divide en dos células, se llama* feto *en los vertebrades amniotas,* renacuajo *en los anfibios,* alevín *en los peces,* larva *en todos los animales que sufren la metamorfosis y* plántula *en los vegetales con semillas.





Nivel de evolución

¿Qué es y cómo surgió la vida? Teoría naturalista. Evolución. Origen marino de la vida. ¿Cuándo se inició la vida? Variedades de organismos. Evolucionismo de Darwin. Pruebas de la evolución. *Anatómicas. Fisiológicas. Embriológicas. Paleontológicas.* Algunos conceptos sobre la evolución. Consideración final.

En Biología, el problema fundamental es la vida. De ahí las preguntas que vienen formulándose los hombres de ciencia de todos los tiempos : ¿Qué es y cómo surgió la vida?, ¿cuándo se inició ésta? Hasta el presente no se ha llegado a una respuesta satisfactoria, si bien los progresos científicos actuales permiten que nos vayamos acercando cada vez más al esclarecimiento de los puntos dudosos.

¿Qué es y cómo surgió la vida? — Se puede afirmar que, si un ser presenta determinadas características organizativas, ejecuta funciones determinadas, como la nutrición, relación y reproducción, y responde a los estímulos del medio ambiente, nos hallamos en presencia de un *ser vivo* y, en el caso contrario, de un *ser inerte.*

La aparición de la vida para los antiguos pensadores debíase a la intervención de poderes naturales, lo que explica la importancia que adquirieron la magia y la astrología. Posteriormente, diversas teorías religiosas interpretaron de diferentes maneras las creencias anteriores y, al correr de los siglos, apareció una elaborada doctrina filosófico-espiritualista, denominada *vitalismo*, que explica los fenómenos de la vida mediante un *principio vital*, concepto bastante indefinido, pero capaz de actuar sobre la materia inerte dándole las propiedades del ser vivo. Otra respuesta, vigente hasta mediados del siglo XIX, fue la de una *creación especial* debida a un poder sobrenatural, que intervino de una vez o en intervalos sucesivos. Coetánea de la anterior fue la teoría de la *generación espontánea*, expuesta ya por algunos filósofos griegos, que admitía la aparición de la vida de forma espontánea a partir del mundo inerte, la cual quedó totalmente superada tras las experiencias cada vez más concluyentes de los siglos XVIII y XIX y, sobre todo, por los trabajos del sabio francés Pasteur.

El *mecanicismo* alcanzó gran auge durante el siglo XIX y consistió esencialmente en la oposición materialista al espiritualismo vitalista. Según él, las simples leyes de la materia estructurada son capaces de originar la vida. Posteriormente surgió el *neovitalismo*, síntesis de vitalismo y mecanicismo, que también ha sido desechado en la actualidad.

Según la *teoría cosmozoica* existiría la posibilidad de que llegaran a la Tierra, de manera puramente accidental, una serie de gérmenes vegetales o animales e incluso algunas esporas procedentes de cualquier punto del Universo. Para admitir esta doctrina, que podría apoyarse en el desarrollo alcanzado hoy por las ideologías nacidas después de los vuelos espaciales, sería necesario hacer caso omiso de la lógica científica y desconocer la existencia de condiciones de vida sumamente negativas en el espacio sideral (muy bajas temperaturas, ultrasequedad y peligrosas radiaciones).

Teoría naturalista. — De todas las teorías que pretenden explicar el origen de la vida, tal vez la más difundida sea la *naturalista*, que admite la posibilidad de que la temperatura y humedad de la Tierra fueran en un remoto pasado muy favorables para la existencia de seres vivos. Los elementos químicos, en esas circunstancias, llegaron a combinarse en complejas sustancias, aún no vivientes, a partir de las cuales se produjo la aparición de moléculas proteicas capaces de reproducirse por sí mismas. El ser vivo se originó de ese modo de otro que no lo era, y, a partir de entonces, el proceso siguiente se rigió por uno de los postulados fundamentales de Biología, según el cual *todo ser vivo procede, por generación, de otro ser vivo semejante a él* («omnis cellula ex cellula»). Esa partícula viva inicial intentó ajustarse e integrarse en el medio, comenzando el protoplasma por alimentarse de sustancias inorgánicas hasta que el gradual desarrollo del pigmento clorofílico permitió al primitivo ser aprovechar la energía contenida en la luz solar (fotosíntesis), sintetizar alimentos y multiplicarse. Se desconoce cuando se produjo el paso de lo vegetal a lo animal, aunque se cree que podría haber sido en las iniciales etapas de semiindiferenciación y escasa especialización. Posteriormente aparecieron sencillas células en unidades iguales y éstas se diferenciaron luego para constituir tejidos. Esto último ocurrió ya en una fase muy avanzada y trajo consigo la división de las funciones fisiológicas.

Evolución. — La evolución pudo haber sido origen de la vida, afirmación generalmente admitida por la moderna Biología y basada en los más recientes estudios de los virus o seres inferiores en la escala de los vivos.

De todo lo expuesto hasta ahora se desprende claramente que los distintos tipos de vegetales y animales se han ido sucediendo en el tiempo siguiendo un orden específico, que va desde el más simple hasta el más complejo. Esto es lo que se llama la *evolución*, que se caracteriza por las modificaciones que sufren los seres vivos para subsistir a pesar de las variaciones del medio ambiente (adaptación), la supervivencia exclusiva de los mejor adaptados (selección) y la aparición, tras la existencia de diversas variedades, de los individuos más capacitados para vivir en determinadas condiciones. Este proceso se inicia en los más remotos y misteriosos orígenes de la vida y llega hasta los tiempos presentes; puede decirse, por tanto, que la evolución es una constante biológica inherente a la naturaleza misma del ser vivo. Ha contribuido a la misma un estado ambiental continuamente cambiante, que ha ejercido una acción sobre unos seres elementales capaces de reaccionar mediante respuestas adaptativas y selectivas, y se ha logrado así una evolución adecuada y acompasada a las circunstancias del momento.

Origen marino de la vida. — La vida, según una variante de la doctrina naturalista, se originó en el mar. En efecto, las condiciones idóneas de humedad y temperatura requeridas por esta teoría existieron en los mares primitivos, donde abundaban las materias primas fundamentales (amoniaco, metano y sales inorgánicas) en un medio ambiente particularmente adecuado (temperatura, presión, luz ultravioleta, etc.). La convergencia de las condiciones antedichas pudo facilitar la formación de compuestos orgánicos elementales, como los carbohidratos, grasas y aminoácidos, que, en un momento dado,

produjeron probablemente nucleoproteínas y proteínas, sustancias imprescindibles en la síntesis de la materia viva. Una vez llegado a estos compuestos, se estaba muy cerca de la agrupación y consecución de biomoléculas, primeramente desnudas y luego circundadas por una membrana. El camino seguido puede apreciarse mejor en el esquema siguiente :

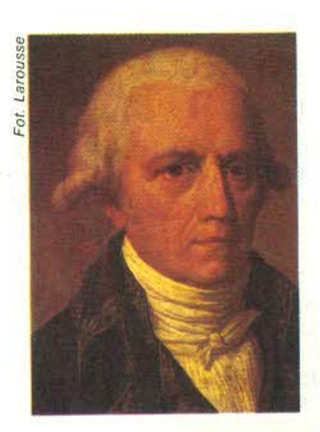
ÁTOMOS
C, N_2, O_2, H_2
↓
MOLÉCULAS ELEMENTALES
↓
COMPUESTOS ELEMENTALES
NH_3, CH_4, H_2O
↓
CARBOHIDRATOS, GRASAS, AMINOÁCIDOS y PROTEÍNAS
↓
NUCLEOPROTEÍNAS
↓
BIOMOLÉCULAS
↓
CÉLULAS

La teoría del origen marino de la vida se encuentra reforzada por los tres hechos siguientes : en las primeras fases de la vida embrionaria, todos los seres se hallan inmersos en un medio acuático; las unidades de un organismo pluricelular, es decir, las células, se encuentran también en agua salada, de la que toman y a la que expulsan los productos necesarios para la vida; y los más remotos vestigios que se conocen han sido localizados en rocas de origen marino.

¿Cuándo se inició la vida? — Resulta sumamente difícil averiguar cuándo surgió la vida. Las aportaciones más recientes hechas por la ciencia paleontológica gracias a las técnicas de radioisotopía y plomoisotopía hacen remontar el origen de nuestro planeta aproximadamente a 48.10^8 años. Después de un período de enfriamiento y de la constitución de las primeras escorias sólidas, apareció la corteza inicial, y se calcula que duró unos 15.10^8 años la formación de las rocas precámbricas más antiguas. Tras otra fase muy larga, que se evalúa en 5.10^8 años, se constituyeron las primeras rocas cámbricas, que contienen ya restos de animales completamente desarrollados.

Puede suponerse que, antes de estos fósiles cámbricos, hubo unos seres de menor desarrollo y complejidad cuya constitución impidió dejar restos fosilizables. En efecto, gracias a los microanálisis efectuados en rocas precámbricas de África del Sur, se han encontrado sustancias proteicas que, en ningún modo, pueden considerarse como integrantes normales de la estructura rocosa mineral y proceden a ciencia cierta de seres vivos elementales incapaces de fosilizarse. Por otra parte, la edad estimada de estas rocas donde aparecieron tales vestigios se sitúa entre 24.10^8 y 25.10^8 años y alcanza, en algunos casos, 27.10^8 años. Los valores señalados no son absolutos y muchos biólogos y paleontólogos no los admiten, pero representan aproximaciones dignas de ser tenidas en cuenta.

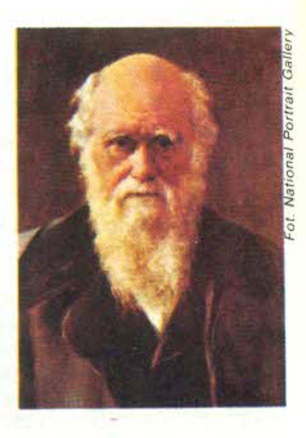
Variedades de organismos. — Se puede suponer que, después de la aparición de la vida en la Tierra, surgieron innumerables variedades de organismos. Éstos se fueron adaptando paulatinamente a los cambios ambientales, como lo explican diversas teorías. Los *fijistas*, por ejemplo, sostuvieron que en cada etapa temporal hubo especies diferentes e independientes entre sí. El naturalista sueco LINNEO, con la clasificación sistemática que estableció en el siglo XVIII, defendió aún más la idea según la cual los cambios geológicos padecidos por la Tierra provocaron cataclismos en los cuales desaparecieron totalmente la flora y fauna existentes. Al restablecerse el equilibrio y entrar en otra nueva era poscataclísmica, la reaparición de nuevas formas vivas podría deberse a *creaciones sucesivas*. Sin embargo, la observación constante de los fenómenos geológicos indica que éstos siempre fueron semejantes, es decir, que los que tienen lugar hoy son similares a los ocurridos en el pasado, con las correspondientes gradaciones de intensidad. Esta teoría recibe el nombre de *actualismo* y se opone a las creaciones sucesivas anteriormente mencionadas. Hay asimismo brotes en el campo biológico que demuestran que los seres contemporáneos no son producto de creaciones sucesivas, subsiguientes a cataclismos, sino de continuados cambios a partir de un ejemplar inicial. Esto conduce a las primeras teorías *evolucionistas*, expuestas por el francés Étienne GEOFFROY SAINT-HILAIRE, seguidas por la teoría de la *herencia de los caracteres adquiridos*, formulada por LAMARCK y llamada *lamarckismo* o *transformismo*. Ésta defiende que los órganos se desarrollan y refuerzan o se atrofian y desaparecen según el grado de utilización. Así se llegó a pensar que la función crea el órgano y que las modificaciones adquiridas por el uso o desuso son transmisibles a la descendencia.



Fot. Larousse



Lamarck.



Fot. National Portrait Gallery

Charles Darwin.

Evolucionismo de Darwin. — Charles DARWIN (1809-1882), en la obra titulada *El origen de las especies* (1859), puso en tela de juicio las hipótesis evolucionistas lamarckianas. Consideró que las formas vivas actuales proceden de unas especies primitivas poco numerosas e incluso de una forma única. Las teorías que defendió, expuestas de manera lógica y basadas en el abundante material que trajo de un viaje científico, así como en las muchas anotaciones y observaciones que hizo durante el mismo, provocaron apasionadas polémicas. Con este sabio nació el verdadero *evolucionismo*, aceptado actualmente por los científicos, quienes han aportado al mismo algunas modificaciones y lo han enriquecido con descubrimientos realizados después de la muerte del autor, como, por ejemplo, las mutaciones del botánico holandés Hugo DE VRIES (1848-1935) o las teorías cromosómicas.

Los fundamentos de la evolución fueron esbozados claramente por Lamarck, quien puso de relieve la importancia del medio ambiente y la adaptación al mismo de los seres vivos. Un medio ambiente dinámico, desde el punto de vista ecológico, crea una serie de estímulos internos capaces de originar los mecanismos orgánicos de respuesta necesarios para adaptarse a la nueva situación. Este fenómeno, de índole elemental al principio, se va perfeccionando gradualmente hasta lograr el equilibrio y la adecuación entre el estímulo y la reacción. La respuesta a las situaciones ambientales origina la aparición de caracteres (adquiridos) que no son hereditarios, aunque inicialmente se creyó que, fijados en el material genético individual, eran transmisibles a la descendencia.

Darwin amplía la teoría de la evolución con dos nuevos elementos : la *selección natural*, según la cual solamente los individuos mejor dotados son capaces de superar las dificultades existentes en un medio ambiente hostil, y la *variabilidad*, forma diversificada de respuestas a una situación, en la que unos mecanismos individuales acaban por crear variaciones de grupo. Por la supervivencia de los más aptos y la variabilidad, se llega, al cabo de varias generaciones, a una población cada vez mejor adaptada que, por los cambios morfológicos experimentados, se diferencia del conjunto de los propios antepasados.

En la época actual, los conceptos del lamarckismo, que pudieron comprobarse experimentalmente, y parte del darwinismo, modificado por los avances de la Genética, se han reunido para constituir el *neodarwinismo*, que da una explicación satisfactoria del mecanismo evolucionista.

Pruebas de la evolución. — Las *pruebas de la evolución* se asientan principalmente en la Anatomía comparada, la Fisiología, la Embriología y la Paleontología.

Anatómicas. — La gran variedad de los seres vivos puede reducirse a unos cuantos prototipos o modelos, en función de las semejanzas que ofrezcan, para formar así el *tronco* o *phylum*. En éste, los organismos presentan muchas características anatómicas similares y la evolución de los caracteres comunes permite determinar si tienen los mismos antepasados *(homología)* o diferente origen, aunque la función que desempeñen sea análoga *(analogía)*. En los vertebrados existe homología en todos los sistemas (circulatorio, nervioso, etc.) y en los invertebrados la hay también en lo relativo a la cubierta quitinosa y a la segmentación de todos los artrópodos. El estudio detallado de estos distintos elementos ha sido el fundamento de la Anatomía comparada.

Fisiológicas. — Siguen observándose multitud de semejanzas en las propiedades físico-químicas de los tejidos, estructuras y propiedades hormonales, actuación y composición de las enzimas, sistemas inmunitarios y constitución molecular de las cadenas A. R. N. (ácido ribonucleico) y A. D. N. (ácido desoxirribonucleico).

Embriológicas. — Existe una marcada comunidad de propiedades y caracteres en el desarrollo embrionario de gran número de animales. Con la excepción de algunas formas de reproducción, los individuos pluricelulares se originan a partir de un huevo fecundado o cigoto. Si se dividen en tres niveles de desarrollo las fases embrionarias de los distintos vertebrados, se ve que en la primera de ellas hay mucha similitud entre algunos, mientras que en la segunda aparecen las diferencias, que se acentúan aún más en la tercera.

Paleontológicas. — Leonardo de Vinci, en el siglo XVI, afirmó que los fósiles eran indudables restos de la vida pasada, y desde entonces se han recogido innumerables vestigios que permiten estudiar científicamente el camino seguido por la evolución en el transcurso del tiempo. Puede observarse cómo fueron apareciendo los distintos *troncos* y *phylum*, que, después de alcanzar gran importancia, desaparecieron, aunque algunos se enlazaron, mediante formas intermedias, con los de un nuevo *phylum*.

Del estudio de lo expuesto anteriormente han podido sacarse múltiples conclusiones, establecidas en particular gracias a la aportación de la Paleontología, que se resumen en una serie de principios sobre la evolución, especialización evolutiva, diversidad progresiva de los seres vivos e irreversibilidad que siempre caracteriza el fenómeno de la evolución.

Algunos conceptos sobre la evolución. — Cuando una especie puede sobrevivir en condiciones diferentes de las que conoció previamente, se dice que es capaz de *readaptación*, y se llama *adaptación* al conjunto de caracteres fisiológicos, morfológicos y de comportamiento que permiten a una especie vivir de modo adecuado en un medio ambiente determinado. Así el topo está particularmente especializado para la vida en el subsuelo, mientras que el hombre, por ejemplo, pertenece a una especie apta para realizar una misma cosa de distintas formas.

En virtud de la *selección natural*, los animales incapaces de adaptarse a nuevas condiciones acaban desapareciendo. En cambio, los que pueden hacerlo terminarán por diferenciarse de tal modo que sus descendientes constituirán una subespecie; si hay además un aislamiento del tronco principal, llegarán a formar una nueva especie en virtud del fenómeno conocido con el nombre de *especiación*. En este nivel de evolución, la fecundación natural es imposible entre los individuos de una y otra especie.

Entre los animales de reproducción sexual no existen individuos iguales, ni siquiera cuando son de la misma especie o familia, excepto en el caso de los hermanos gemelos univitelinos. El hombre ha sabido sacar provecho de estas diferencias, llamadas *variaciones*, cruzando las semillas o animales para lograr así cualidades superiores. Darwin llegó a observar esta variación, pero la escasez de conocimientos genéticos en su época no le permitió explicar cuál era el motivo. Hay que señalar que la variación ha servido también de fundamento a la selección artificial.

Se ha comprobado que las variaciones hereditarias aparecen tanto en los animales domésticos como en los salvajes y la Citogenética ha realizado investigaciones sobre las causas de este fenómeno, centrándose en el estudio de los cromosomas, genes mutantes, meiosis y fecundación al azar.

Consideración final. — La doctrina de Darwin se considera en la actualidad como la más lógica en lo que se refiere a la evolución. No obstante, es útil indicar que, después de la época en que vivió este naturalista, se han adquirido nuevos conocimientos y se han realizado descubrimientos lo mismo en este sector que en Genética. *El origen de las especies* se publicó en 1859 y Mendel expuso sus principios, que tuvieron entonces poca repercusión científica, en 1866. Los biólogos empezaron a estudiar las primeras nociones sobre células germinales sólo a partir de 1875 y en 1900 se inició la difusión de las observaciones y leyes de Mendel. Los ulteriores hallazgos han completado la doctrina de Darwin y constituyen el *neodarwinismo*.

Zoología

La *Zoología*, como lo indica la etimología de la palabra misma, es la parte de las ciencias naturales que trata de los animales. El hombre, desde los tiempos más remotos, se ha sentido atraído por éstos y por sus formas de vida, aunque inicialmente lo fuera con la idea de asegurarse el sustento y el abrigo corporal. La reducción a la domesticidad de algunos representó un gran progreso dando origen a una nueva forma cultural, el pastoreo, gracias al cual se llegó a un mejor conocimiento de este reino.

La Zoología, para dar una visión de conjunto, puede dividirse en dos grandes apartados : *Zoología general* y *Zoología descriptiva*. Al final de este último se incluyen unos elementos puramente zoológicos sobre el hombre, que enlazan con un estudio morfo-fisiológico, para llegar así a unas nociones de Antropología y Raciología.

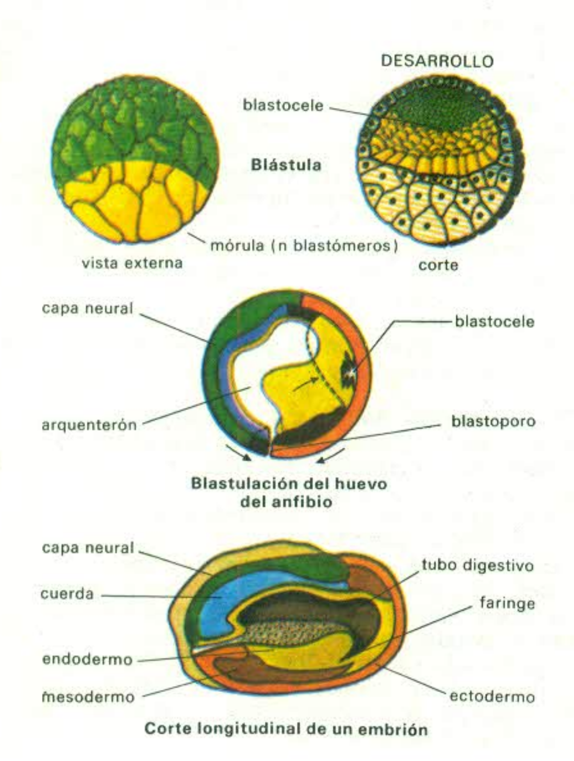
Zoología general

Se procura exponer aquí, de modo sistemático, todos los aspectos genéricos y comunes que poseen los animales, antes de proceder a una descripción taxonómica. Puesto que la Citología se estudió anteriormente en la parte de la Biología dedicada al nivel unicelular, a continuación se desarrollarán los capítulos relativos a *Embriología* u *Organogénesis*, *Histología*, *Fisiología*, *Morfología* y *Herencia*.

Embriología u Organogénesis

Proceso embrionario. Segmentación del huevo. Gastrulación. El mesodermo. Sistemas y ordenación morfológicos. Diferentes etapas de la Organogénesis. Fase postembrionaria. Crecimiento, regeneración y envejecimiento.

La *Embriología* estudia el desarrollo de los organismos desde la fecundación del huevo hasta el nacimiento del nuevo ser. El proceso mitótico inicial comienza cuando se fusionan en un núcleo de fecundación *(sincarión)* los pronúcleos femenino y masculino, pero procede aclarar que la mitosis se da en el desarrollo embrionario, en el crecimiento, en la curación de heridas (cicatrización), en las mudas de piel de ciertos animales y en los procesos tumorales malignos. Se trata, por lo tanto, de un fenómeno dinámico y continuo, que se divide en cuatro fases : *profase*, *metafase*, *anafase* y *telofase*. Las células que no están en proceso de mitosis se encuentran en *interfase*.



Corte longitudinal de un embrión

Proceso embrionario. — La subdivisión celular permite el *proceso embrionario*, cuyo término es difícil de fijar, ya que a continuación empieza el *postembrionario*, en el cual algunos animales se encuentran ya total o parcialmente desarrollados.

La *ontogénesis* corresponde a las etapas del desarrollo embrionario y postembrionario en general, aunque en bastantes especies existe el denominado *estado larvario*, que dura cierto período al cabo del cual el animal llega a ser adulto. Poca diferencia hay, por consiguiente, entre los conceptos de larvario y embrionario, mientras que el estado adulto representa la terminación de las transformaciones orgánicas operadas desde el final del embrionario hasta el principio del postembrionario. Un cuerpo puede tener al nacer los caracteres de adulto o nacer sin ellos y adquirirlos al pasar por fases larvarias o metamorfosis. En el primero de los casos, el desarrollo es directo y en el segundo indirecto, dependiendo respectivamente de una larga o corta fase embrionaria, consecuencia, a su vez, de la cantidad más o menos grande de vitelo nutritivo en los huevos.

Segmentación del huevo. — Se distinguen varias etapas semejantes en la segmentación del huevo, que no están claramente separadas unas de otras. El *cigoto* empieza por multiplicarse, para lo cual se divide en determinado número de células *(blastómeros)*, según diversos modelos que varían con la distribución del

vitelo nutritivo. Los huevos son *holoblásticos*, cuando se segmentan totalmente, o *meroblásticos*, si lo hacen sólo parcialmente. La *segmentación*, en ambos casos, puede presentarse de distintas maneras : *total e igual*, típica de los huevos isolecitos, que se caracteriza por blastómeros iguales y se produce en ciertos procordados *(anfioxus)*, celentéreos, mamíferos y equinodermos ; *total y desigual*, propia de huevos telolecitos, que origina macrómeros y micrómeros (blastómeros mayores y menores, respectivamente) y se efectúa en ciertos peces (dipnoos y ganoideos), anélidos, anfibios y moluscos ; *superficial*, que se verifica en los huevos centrolecitos, con distribución periférica de los blastómeros, y es la forma peculiar de los insectos ; y *discoidal*, en el caso de los huevos telolecitos ricos en vitelo nutritivo, con segmentación únicamente en el disco germinativo, que se observa en reptiles, ciertos peces (teleósteos y selacios), aves y cefalópodos.

El mecanismo de segmentación se verifica con arreglo a unas normas fijas y según unos planos que pueden ser *meridianos, tangenciales* y *ecuatoriales*. Estos últimos delimitan dos hemisferios, uno *vegetativo* y otro *animal*, con su polo respectivo. Acabada la etapa de segmentación en los huevos holoblásticos, se observa una masa de blastómeros que puede ser maciza *(mórula)* o hueca *(blástula)*, y en este segundo caso se da el nombre de *blastodermo* al conjunto de blastómeros situados alrededor de esta cavidad.

Gastrulación. — La *gastrulación* consiste en la diferenciación de las hojas, originada cuando los blastómeros de la mórula y los de la blástula se distribuyen en estratos externo *(ectodermo)* e interno *(endodermo)*, surgiendo así la llamada *gástrula*. Consiste ésta en una etapa bidérmica embrionaria en la que, a veces, pueden percibirse los *blastemas* o esbozos de órganos. Lo que resulta fundamental es que tanto el ectodermo como el endodermo empiezan a tener diferencias funcionales, ya que el primero relaciona al embrión con el exterior y el segundo cumple funciones de nutrición. Actualmente se cree que la gastrulación es más bien un conjunto variado de fenómenos histofisiológicos que una mera fase embrionaria. A esto debe añadirse que algunos animales dejan de desarrollarse precisamente en esta etapa, como es el caso de los celenterados o celentéreos, formados solamente por un ectodermo y un endodermo. No obstante, la mayoría de los animales llega a superar la fase de gastrulación, constituyendo el grupo más perfecto y numeroso de los celomados.

El mesodermo. — El *mesodermo* de los vertebrados, cuya formación puede seguirse desde los elementales esbozos blastulares, consiste en una tercera hoja germinativa, que no se forma de la misma manera en todos los animales. En algunos embriones bidérmicos son perfectamente distinguibles un ectomesodermo y un endomesodermo; en los vertebrados, el mesodermo se origina en profundidad, por traslado, cruzando el blastóporo las áreas celulares del boceto inicial; y en los anélidos, las células primitivas arrancan lateralmente de la gástrula y de ellas nacen unas bandas macizas que, por segmentación, formarán sacos mesodérmicos. Estos sacos, por extroflexión, pierden a veces su adherencia a la pared interna, como ocurre en los equinodermos, y entonces las cavidades mesodérmicas reciben el nombre de *enterocele*, formando el llamado *celoma* si están cubiertas de *mesepitelio*. Los segmentos mesodérmicos vacíos constituyen los sacos celómicos, cuyo revestimiento interno permite diferenciar dos hojas : la *esplacnopleura* o visceral, adherida a la membrana intestinal endodérmica, y la *somatopleura* o parietal, unida al ectodermo. Simultáneamente se forman dos *mesenterios*, el ventral y el dorsal, a partir de los sacos celómicos de izquierda y derecha, respectivamente.

Las *hojas blastodérmicas* son muy importantes, ya que de ellas y de su desarrollo se deriva la división de los animales en celenterados, o acelomados, y celomados. También permiten conocer la procedencia de las vísceras, órganos, tegumentos, etc., de los vertebrados. Así, del ectodermo derivan la epidermis y parte del sistema nervioso, del mesodermo, el esqueleto, los músculos, las gónadas y los sistemas renal y circulatorio, y del endodermo, las glándulas digestivas, los pulmones y la tiroides.

Sistemas y ordenación morfológicos. — Al exponer la génesis de la gastrulación y del mesodermo se han mencionado los sistemas formadores de ambas etapas y de otras fases embrionarias, entre los cuales merecen señalarse la *epibolia*, propia de la gastrulación y consistente en la colocación de algunas células en la periferia de otras, la *embolia*, también conocida con el nombre de *invaginación* o *introflexión*, que corresponde a la aparición de un introrrepliegue celular causante de una glándula con un canalículo, la *evaginación* o *extroflexión*, que se produce al formarse un extrorrepliegue, como sucede en el caso de las vellosidades intestinales, la *concrescencia*, que sucede cuando se unen dos complejos celulares que inicialmente estaban dispersos, y la *proliferación*, es decir, la migración celular posterior a una fase multiplicativa.

Las variedades más caracterizadas de los sistemas en las fases embrionarias aparecen en una ordenación que puede ser *epitelial*, con células estratiformes, *inicial*, cuando se trata de una masa amorfa de células plurinucleadas en áreas indiferenciables, *mesenquimática*, propia de células fusiformes y estelares, y *parenquimática*, si las células son redondeadas.

Diferentes etapas de la Organogénesis. — La individualización orgánica, a partir de esbozos en hojas germinales, es posible en el caso de una predeterminación segmentaria, como ocurre con los moluscos, gasterópodos y vertebrados. No obstante, en la actualidad se da prioridad al concepto de *área topográfica* sobre el clásico binomio de *hoja germinativa-área organogenética*.

Desde las primeras observaciones embriológicas se comprobó la existencia de blastómeros, distintos por las posibilidades de diferenciación que tenían. Los huevos que presentan esta propiedad se denominan *anisótropos*, mientras que los *isótropos* carecen de esa cualidad. La *epigénesis*, teoría según la cual cada una de las partes del embrión en el huevo se forma progresivamente, ha motivado la revisión profunda de la noción de reparto en áreas morfogénicas de ciertos factores dando lugar a la expresión *campo de individuación* o *campo blastemático*, cuya acción irradia del centro a la periferia, en graduación decreciente. De este modo, tras la segregación de áreas organoformadoras, cada vez más individualizadas, vienen auténticas etapas de morfogénesis. Y en esto consiste el proceso de determinación, con claro sometimiento de las partes al todo.

El alto nivel alcanzado por la Embriología en nuestros días se apoya básicamente en la investigación. Dentro de ésta ocupa un lugar preeminente la relativa a los *trasplantes*, es decir, al cambio de localización de esbozos embrionarios. Los trasplantes pueden ser *autoplásticos*, *homoplásticos* o *heteroplásticos*, según se trate, respectivamente, de esbozos embrionarios del mismo individuo, de otro individuo o de individuos de distinta especie. Deben mencionarse asimismo los *injertos*, consistentes en la unión de dos embriones o en la

inserción sobre uno de ellos de la totalidad o de una parte de otro.

Estas investigaciones suelen ir acompañadas del uso de hormonas, habiéndose llegado así a un conocimiento cada vez más exacto de la dosificación y de los efectos hormonoterápicos.

Fase postembrionaria. — Existe un paralelismo entre las acciones humorales embrionarias y las de las hormonas postembrionarias. Éstas se acentúan de modo especial en el adulto, una vez acabada la fase postembrionaria, y son muy intensas al llegarse a la madurez sexual. En los vertebrados es donde de modo más palpable se manifiestan estas acciones hormonales, las cuales se realizan por equilibrio de hipófisis y tiroides, cuyas secreciones convergen en la iniciación, maduración y regulación de todas las complejas funciones sexuales. Cada uno de estos fenómenos suele ir acompañado del desarrollo orgánico general, aunque a veces no es así, dándose casos de precocidad en la maduración sexual coincidentes con unas fases orgánicas netamente larvarias, lo cual recibe el nombre de *neotenia*. Esta última puede ser parcial, como ocurre con algunas especies en las que la reproducción es *disogónica*, es decir, que se produce tanto en la fase larvaria como en la adulta. Se llama *paidogenesia* a la reproducción por partenogénesis de un individuo en estado larvario.

Crecimiento, regeneración y envejecimiento. — Durante las fases de desarrollo tiene lugar también el *crecimiento*, que corresponde en general a un incremento de la materia viva. Éste puede representarse gráficamente mediante una curva cuyo límite superior se alcanza al aparecer los primeros caracteres sexuales, deteniéndose precisamente el crecimiento al llegarse a la plena madurez en el campo sexual.

La posibilidad de reconstituir órganos y tejidos es muy importante para reparar ciertos daños y lesiones traumáticas. Esta cualidad se manifiesta con más intensidad en animales y vegetales durante las etapas juveniles de la vida, pero representa, sobre todo, una de las características de los seres con estructuras orgánicas más sencillas. Dicho proceso se conoce con el nombre de *regeneración*, que unas veces puede ser fisiológica y otras traumática, conservando siempre en los animales la orientación axial de los órganos. En los vegetales, la regeneración se produce más al nivel de los tejidos ricos en células indiferenciadas y es en principio más acusada en los tejidos embrionarios que en los estables y adultos. No deben confundirse con la regeneración otros procesos completamente distintos, como la *hipertrofia*, o crecimiento exagerado del tamaño de los elementos constitutivos de un tejido o de una parte del mismo, y la *hiperplasia*, o aumento anormal del número de células. Esta última anomalía puede verificarse de dos maneras diferentes, llamadas *homeoplasia* y *heteroplasia*.

Simultáneamente a las fases que se acaban de describir se verifica el *envejecimiento*, por el cual se atenúan los procesos vitales, debido a la creciente toxicidad tisular que dificulta cada vez más la eliminación de las toxinas. Todo ello va unido a una progresiva deshidratación citoplásmica que conduce a la fase final, o muerte del individuo, seguida de lisis internas de la materia orgánica.

Histología

Tejido epitelial. Tejido conjuntivo. Tejido esquelético. Tejido contráctil. Tejido nervioso : Origen y funciones. Clases. Operación estímulo-reacción. Sistema nervioso : *Invertebrados. Vertebrados.*

Como ya se ha visto en la Biología, el objeto de la *Histología* es el estudio de los tejidos. Según unas bases funcionales, éstos pueden clasificarse en *epitelial o de protección, conjuntivo, esquelético, contráctil* y *nervioso*.

Tejido epitelial. — Las células del *tejido epitelial* o *de protección* tienen una dualidad funcional, que incide en su morfología. Existen células sencillas, puramente protectoras, planas y estratificadas en varias capas, además de otras productoras de sustancias con diversas funciones fisiológicas. Incluso los protozoos más sencillos tienen una envoltura protectora que preserva el citoplasma de cualquier agresión o intrusión medioambiental, como es el caso de los paramecios y las amebas, provistos de membranas celulares, y de los metazoos, cubiertos por una epidermis de células uniestratificadas en las babosas y los gusanos planos, reforzada a veces por una secreción cuticular en las lombrices de tierra. En los artrópodos, las formaciones epidermo-protectoras son ya un verdadero exoesqueleto articulado, endurecido por la quitina, sustancia escleroproteica. Merece particular mención el epitelio de los moluscos, cuyos repliegues tegumentarios crean un manto en el que las células epidérmicas externas calcificadas constituyen la concha.

Entre los vertebrados, los tejidos empiezan a diferenciarse a partir de la embriogénesis, siendo más perceptibles los epiteliales que los mesenquimáticos; y antes de finalizar la gestación se han formado ya en su triple aspecto *externo* o de estricta protección, *interno* o de revestimiento y *glandular* o de secreción.

El **tejido externo** consta de la epidermis, parte visible, que puede ser húmeda (anfibios), seca y con formaciones protectoras como las escamas (reptiles), húmeda y con escamas (peces), cornificada o queratinizada en plumas (aves) o cornificada en pelos (mamíferos). Debajo de la epidermis se encuentra un substrato dérmico capaz de suministrar células compensadoras del

Corte de la PIEL

desgaste de la capa externa. Este substrato, llamado *dermis*, incluye la inervación, las células pigmentarias, que dan color a la piel, y la vascularización, amplia red de vasos sanguíneos destinados a la nutrición y a la regulación térmica. A veces se observan en la dermis modificaciones notables, entre las cuales pueden mencionarse los panículos grasos, frecuentes en los mamíferos acuáticos, o la existencia de mínimas protecciones dérmicas, delgadas y carentes de elementos térmico-protectores, que permiten que la sangre pueda oscilar con la temperatura del medio ambiente, como es el caso de los animales de sangre fría *(poiquilotermos)*. En cambio los animales de sangre caliente *(homeotermos)* están dotados de un sistema vascular subcutáneo desarrollado, capaz de regular la temperatura interna.

Las células del **tejido interno** o de revestimiento, protector de cavidades interiores, tienen el aspecto de figuras geométricas y, colocadas unas junto a otras, están generalmente dispuestas en estructuras estratiformes. Según el predominio de la forma, puede haber epitelios cúbicos, cilíndricos o pavimentosos; frecuentemente, la capa celular superficial posee formaciones ciliares o flagelares.

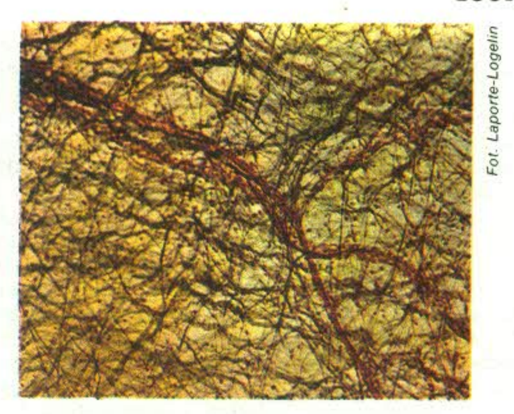
El **tejido glandular** está constituido por células epiteliales secretoras. Las glándulas se dividen fundamentalmente en *endocrinas* o de secreción interna y *exocrinas* o de secreción externa, llamándose *mixtas* las que, como el hígado y el páncreas, tienen una parte endocrina y otra exocrina. Según la disposición de las células secretoras, las glándulas endocrinas pueden ser foliculares, intersticiales o con cordones celulares. Las exocrinas se clasifican de acuerdo con la naturaleza química del producto segregado (mucosas, mucoides, serosas y anfítropas), la forma de emisión de la secreción (merocrinas, apocrinas y holocrinas) o la unidad secretora (alveolares, tubulares, acinosas).

El tejido protector epitelial realiza funciones mecánicas de antidesgaste, de defensa térmica o protección contra la desecación, respiratorias, en el caso de lombrices de tierra y algunos anfibios, secretoras (glándulas sudoríparas) y sensoriales, patentes éstas en las sensibilidades térmica y táctil, que se encuentran localizadas particularmente en la piel.

Tejido conjuntivo. — El **tejido conjuntivo,** por la estructura que tiene, realiza varias funciones simultáneamente, como las de sostenimiento, relleno y depósito para almacenar agua y grasas. Procede del mesénquima embrionario y se caracteriza por la abundancia de sustancia intercelular, rica en fibras colágenas, viscosa y amorfa, en la que se encuentran los *fibroplastos* o *fibrocitos*, células con funciones a veces fagocitarias antimicrobianas. También contiene células pigmentadas, llamadas *cromatóforos*, de variada composición química.

De manera general, el tejido conjuntivo se puede dividir en dos tipos fundamentales : el *laxo*, cuya formación típica son las fibras colágenas, elásticas y reticulares, y el *compacto*, de sustancia intercelular más consistente y elasticidad variable. Ejemplos de este último son los tendones y las aponeurosis.

Existen otras modalidades, llamadas *paraconjuntivas*, como el **tejido adiposo,** constituido por células cargadas de grasa *(adipoblastos)* que cumplen una función de reserva, y el **tejido cartilaginoso,** considerado por algunos histólogos como una variedad del conjuntivo, por la semejanza que tiene con él, y por otros como completamente autónomo. Posee una sustancia intercelular elástica, casi sólida, abundante en agua y condroproteína, en la cual se encuentran inmersas células casi siempre redondeadas. Según la abundancia de estas últimas, puede hablarse de variedades hialinas, elásticas



Estructura del tejido conjuntivo.

o fibrosas de este tejido, que tiene una función esquelética particularmente evidente en la fase embrionaria de todos los vertebrados superiores, así como en los peces ciclóstomos (lampreas) y elasmobranquios (rayas, torpedos y tiburones).

Tejido esquelético. — Se estudiarán los *tejidos esqueléticos* en los animales vertebrados, con endoesqueleto óseo, o en los invertebrados, con exoesqueleto.

Entre los vertebrados, el **tejido óseo** procede ontogénicamente del mesénquima embrionario. Contiene una sustancia intercelular básicamente colágena y rica en sales minerales *(osteína)*, dispuesta en laminillas con diversa orientación. Ésta le da una notable dureza, compatible con la elasticidad, para que ejerza la función esquelética. Las células óseas u *osteocitos* se localizan en cavidades labradas en la sustancia intercelular y se nutren a través de finos conductos, llamados de *Havers*, que comunican dichas cavidades. La osteína determina las variedades óseas, que pueden ser compacta o esponjosa, según tengan menor o mayor abundancia de médula.

La estructura descrita constituye el *hueso*, revestido exteriormente por el *periostio*, fina membrana conjuntiva, rica en células de crecimiento llamadas *osteo-*



blastos. La acción de éstos se encuentra equilibrada por los *osteoclastos*, células situadas en la cavidad medular, que cumplen una función de resorción, es decir, de absorción de materias secretadas o excretadas en el tejido. En las estructuras macroscópica, microscópica y molecular del hueso aparecen claramente definidas las líneas de fuerza y de resistencia a la torsión, combeo, alabeo y fricción. Además, la contextura de cada hueso está en relación con la función del mismo, contando también con rugosidades externas y oquedades para la inserción muscular y con sistemas vascular y nervioso. El hueso puede, por tanto, realizar toda clase de movimientos con gran precisión, permitiendo así el desplazamiento general del individuo. Esto no sería posible sin la ayuda de las *articulaciones*, que poseen estructura cartilaginosa elástica o conjuntiva y están lubricadas por vainas sinoviales, o sin la existencia, en algunos casos determinados, de discos intercalados entre ciertos huesos.

Las mencionadas líneas de fuerza y resistencia aparecen también en los huesos largos, de interior hueco que los hace más ligeros. En cambio, los huesos planos adoptan a veces formas alabeadas o esferoidales, tienen poco peso y máxima resistencia a la fractura, y están generalmente destinados a proteger las vísceras más nobles y delicadas del animal, como por ejemplo el encéfalo. Es digno de señalarse la capacidad reconstructiva y regeneradora que muestra el tejido óseo, que hace posible la autorrestauración en caso de fractura. El proceso evolutivo formador del hueso se inicia con unos esbozos mucogelatinosos en las primeras etapas embrionarias, a los que sigue un preesqueleto cartilaginoso que se va osificando conforme pasa el tiempo. Posteriormente se efectúa una mineralización gradual, con pérdida paulatina de elasticidad, hasta llegar al desarrollo general, que se produce en el estado adulto.

Muchos de los invertebrados están dotados de formaciones protectoras y de sostén que pueden considerarse, desde el punto de vista funcional, como auténticos esqueletos. No obstante, éstos, al estar localizados exteriormente, se denominan *exoesqueletos* y se estudian, a veces, en el apartado de los tejidos tegumentarios protectores. Los artrópodos constituyen el mejor ejemplo de ellos, ya que los caparazones de quitina tienen cierta articulación entre las piezas que los integran. Además presentan rugosidades en las caras internas de esas piezas para la inserción de los músculos y una pigmentación mimética que les proporciona una protección adecuada. Las placas externas se desprenden y se forman de nuevo periódicamente *(mudas)* con objeto de que sea posible el crecimiento del animal. Estos fenómenos están regidos por estímulos ambientales y acciones hormonales.

Tejido contráctil. — La *contractilidad* es una cualidad protoplásmico-celular que, al coordinarse en complejos multicelulares, da lugar al **tejido muscular.** Los celentéreos tienen estructuras musculares elementales al ser capaces de contraerse en sentidos determinados y las células que los integran aparecen a veces mezcladas con otras indiferenciadas, como sucede también en algunos metazoos inferiores. No puede, sin embargo, tratarse todavía de tejido contráctil especializado, aunque al avanzar el proceso evolutivo se produce una diferenciación celular gradualmente más cualificada, llegando a presentarse haces o capas de fibras musculares, más o menos numerosas, que reciben el nombre de *miofibrillas.* Éstas constituyen ya entes especializados que, agrupados, forman los tejidos musculares propiamente dichos, llamados también *contráctiles* a causa de la función que desempeñan.

Las miofibrillas, uninucleadas o polinucleadas, pueden ser cilíndricas, fusiformes, alargadas y estrechas o estar dispuestas en forma de red. Esto da lugar a la diferenciación en tejido muscular de *fibra lisa*, que se contrae lentamente y de manera involuntaria, y en tejido muscular de *fibra estriada*, de contracción brusca y sometida a la acción volitiva individual.

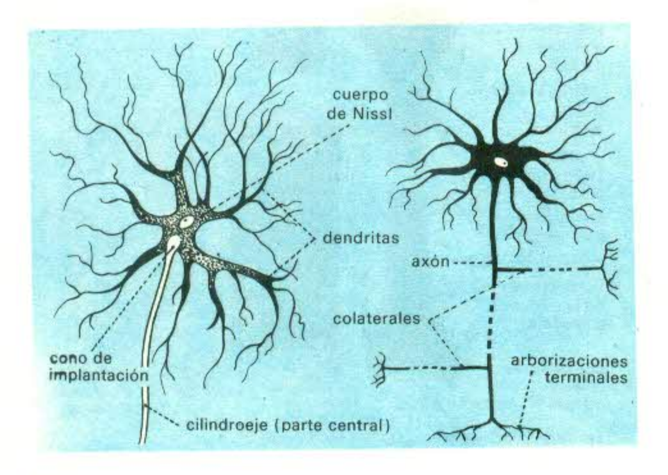
La contracción muscular se debe a un mecanismo bioquímico complejo que utiliza la energía del glucógeno. Todo el conjunto miofibrilar posee una trama conjuntiva, llamada *perimisio interno*, que, al unirse con otras, se ve envuelta con ellas en una lámina de tejido conjuntivo más consistente, denominada *perimisio externo.*

Las formas lisas predominan en los metazoos inferiores y hay ya tejido estriado en nematodos y medusas. El miocardio de los vertebrados constituye una excepción a la norma general, puesto que, a pesar de componerse de fibras estriadas, no está en modo alguno regido por la voluntad del individuo, sino que actúa bajo impulsos autónomos.

TEJIDO NERVIOSO

Origen y funciones. — El **tejido nervioso,** llamado también receptor-conductor, tiene amplias funciones, como las de captar la información externa, elaborarla, almacenarla, devolverla al exterior o usarla en provecho propio. Embriogénicamente deriva del ectodermo a través de células de aspecto epitelial que sufren una modificación notable. Las unidades nerviosas, llamadas *neuronas*, tienen una peculiar morfología con largas prolongaciones que, al unirse unas con otras, constituyen la *fibra nerviosa*, capaz de relacionar áreas orgánicas a veces muy separadas. En esta operación de transmisión del impulso nervioso intervienen también otras diferentes células, con aspecto estelar y muchas prolongaciones, llamadas *neuroglias.*

Como cualquier protoplasma vivo es excitable, todos los organismos son sensibles a los estímulos ambientales externos o internos. Esa excitabilidad motiva una extensa gama de respuestas que va desde las reacciones simples de un protozoo unicelular hasta los procesos mentales humanos más complicados. Cuando el binomio estímulo-



La neurona, célula que participa en la génesis y en la transmisión de los impulsos nerviosos, está formada por un cuerpo (pirenóforo), en el que se encuentra el núcleo, y numerosas prolongaciones (dentritas y neuritas).

respuesta se realiza mediante un sistema adecuado, integrado por células especializadas, el conjunto de éstas recibe el nombre de *tejido nervioso*. La función específica de éste, al completarse con la de las glándulas endocrinas, da lugar a un complejo que se conoce con el nombre de *sistema neuroendocrino*.

Clases. — La recepción de estímulos y la transmisión de impulsos son las verdaderas razones de la existencia del tejido nervioso y esto hace que se divida el mismo en *tejido receptor sensorial* y *tejido nervioso propiamente dicho*.

Los tejidos sensoriales, localizados en toda la superficie corporal y en algunas cavidades, como la ocular, constan de células sensitivas *primarias*, neuroepiteliales, que son propias de los animales invertebrados, y de células *secundarias*, más complejas y características de los vertebrados. Estas células, primarias y secundarias, se integran en epitelios sensitivos, junto a otras que cumplen una función de sostén.

El tejido nervioso lo forman *neuronas* y *neuroglias*. Las primeras, según que las prolongaciones sean únicas, dobles o múltiples, reciben el nombre de *unipolares*, *bipolares* o *multipolares*. Estas últimas, que vinculan, por contacto o continuidad, las células nerviosas, las receptoras y aquellas otras que causan los estímulos sensitivos, son de dos tipos : las *dendritas* o *prolongaciones protoplásmicas*, muy irregulares, y la *neurita*, llamada también *axón* o *cilindroeje*, más larga y delgada, de la que salen finas ramificaciones colaterales. Constituyen las fibras nerviosas, que pueden ser *mielínicas*, si están envueltas por una vaina de mielina (sustancia grasienta aisladora de la corriente), o *amielínicas*, cuando carecen de ella. Las primeras forman la sustancia blanca del tejido nervioso y las segundas la sustancia gris del mismo.

Las *neuroglias*, de forma estrellada y ramificadas de modo variable, cumplen al mismo tiempo una función aisladora y de sostén.

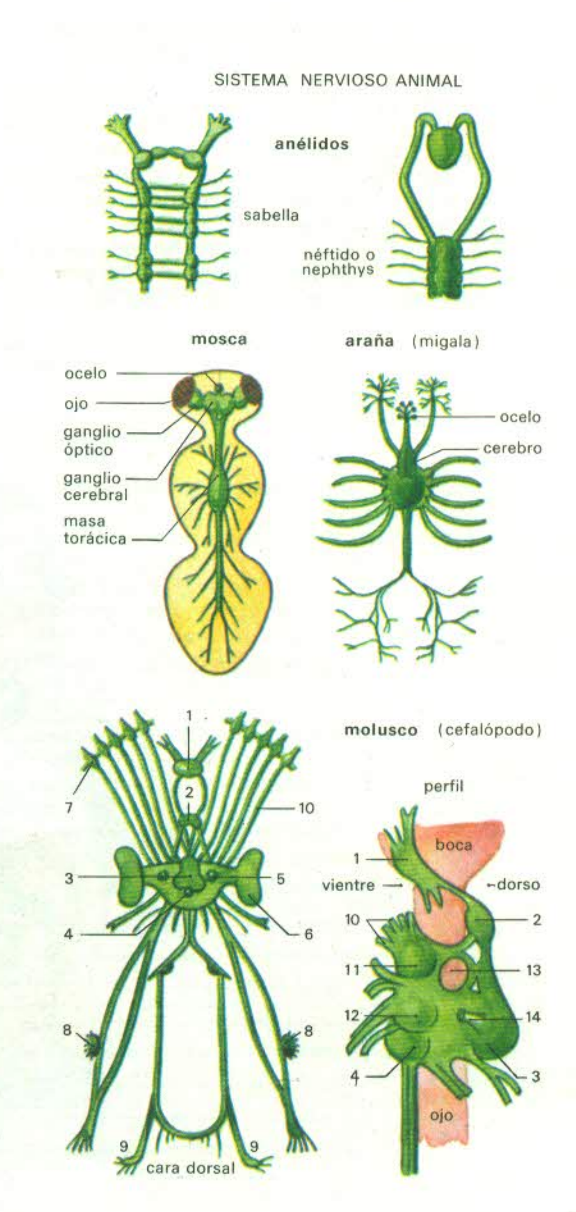
Operación estímulo-reacción. — Una vez que el estímulo-ambiente es captado por un receptor (interno o externo), se inicia, por vía efectora, la transmisión de impulsos hasta los centros terminales o receptores. De éstos parten las respuestas o reacciones, que, igualmente por vía efectora, alcanzan finalmente las áreas externas. El conjunto de músculos y glándulas que ejecutan las correspondientes respuestas recibe el nombre de *órganos efectores*.

El llamado *impulso nervioso* consiste en una serie de cambios químico-eléctricos que pasan a través de las fibras nerviosas previamente polarizadas.

El sistema nervioso. — *En los invertebrados.* — Los animales invertebrados más elementales carecen de estructuras de coordinación. Sin embargo, al aumentar la complejidad de los metazoos, se observa ya un aparato neuromotor capaz de coordinar la movilidad animal. En los celentéreos aparecen redes nerviosas constituidas por protoneuronas y receptores epiteliomusculares; en los animales de simetría bilateral, más desarrollados, se llega a encontrar un ganglio cerebroide unido por un cordón nervioso a uno o varios centros; y en los radialmente simétricos, como los equinodermos, el sistema nervioso tiene también esta misma forma.

En los vertebrados. — En los vertebrados, el sistema nervioso presenta una posición dorsal en relación con el tubo digestivo. Está formado por una parte central, situada en el cráneo e integrada por el *encéfalo*, constituido por el cerebro, cerebelo y bulbo, y por la *médula espinal*, alojada dentro del canal vertebral, de donde parten las ramificaciones que llegan a los diversos músculos y glándulas. Anatómicamente se pueden distinguir el *sistema nervioso central*, localizado en la cavidad craneorraquídea, y el *sistema nervioso periférico*, compuesto por todas las ramificaciones de tejido nervioso que salen del anterior. Los dos se dividen en *sistema somático* o *de relación* y *sistema vegetativo* o *autónomo*. Este último comprende el *simpático* y el *parasimpático*, reguladores de la vida de los órganos.

Cabe señalar que el tamaño encefálico varía según la especie y edad del individuo, lo mismo que el número de nervios craneoespinales y la longitud de la médula.



Sistema nervioso de los moluscos : 1. Ganglio bucal interior; 2. Ganglio bucal superior; 3. Ganglio cerebral; 4. Ganglios viscerales; 5. Otocisto; 6. Ojo; 7. Ganglios de los brazos; 8. Ganglios branquiales; 9. Ganglios del estómago; 10. Nervios de los brazos; 11 y 12. Ganglios del pie; 13. Triángulo lateral; 14. Nervio óptico.

Fisiología

Fisiología de la nutrición : Objetivos alimentarios. Captura del alimento. *Entre los invertebrados. Entre los vertebrados.* — Proceso digestivo : Masticación. Paso por el estómago y digestión intestinal. Absorción. — Metabolismo : División y ciclo dinámico. Necesidades orgánicas en calorías. Aspectos del metabolismo. Requerimientos organógenos del animal. — Respiración : Formas de respiración. *Niveles celular y cutáneo. Nivel branquial. Nivel pulmonar.* Movimientos pulmonares y balance respiratorio. — Sistemas y líquidos circulatorios : Hematosis. La circulación. *En algunos invertebrados. En los vertebrados.* El corazón. Vasos sanguíneos. La sangre. Bioquímica respiratoria. Sistema linfático. — **Fisiología del movimiento :** Seudópodos, cilios y flagelos. Esqueletos externos. Esqueleto de los vertebrados. Sistema articular. Sistema muscular. Inervación muscular. Contracción muscular. Bioquímica muscular. — **Biogénesis :** Morfofisiología de la reproducción. Meiosis y maduración. Ovogénesis y espermatogénesis. Ciclo ovárico. Pubertad y climaterio. Los gametos. La fecundación. Función de las hormonas en la reproducción. — **Correlación neuroendocrina y sensibilidad :** El sistema nervioso. Generalidades. Llegada de los estímulos. Mecanismo funcional. Sinapsis. Sistemas nerviosos ganglionar y central. Sistemas nerviosos autónomo y central. — Receptores sensoriales : Órganos táctiles. Órganos olfatogustativos. Órgano de la vista. Órgano estatoacústico. Propioceptores. — Funciones endocrinas : Modo de actuar. Química hormonal. Acción hormonal en los invertebrados. Las hormonas en los vertebrados superiores. *Hormonas hipofisarias. Hormonas tiroideas y paratiroideas. Hormonas pancreáticas. Hormonas suprarrenales. Hormonas aglandulares. Hormonas sexuales.* — Correlación neurohormonal. — **Fisiología de los sistemas excretores :** La excreción. *En los invertebrados. En los vertebrados.* — Homeostasis.

La *Fisiología*, de manera general, puede definirse como el estudio de los órganos y de las funciones que éstos desempeñan.

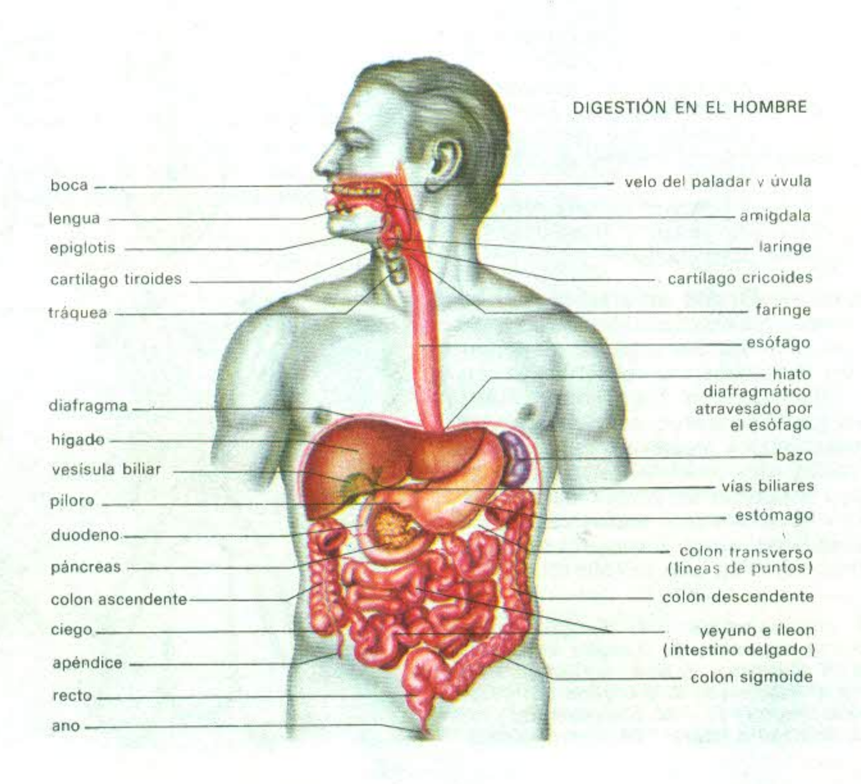
Los tejidos pueden agruparse para constituir un *órgano*, cuya operación se llama *acto*. La interfunción de varios órganos da lugar a una entidad superior, el *aparato*, cuya actividad es la *función*. La agrupación de mayor complejidad se denomina *sistema* y consiste en la función combinada de órganos y aparatos.

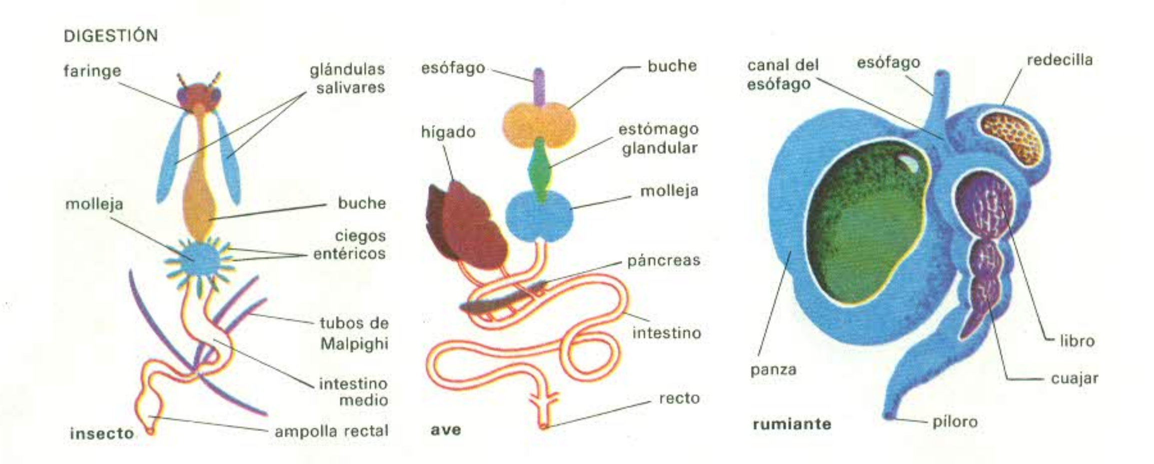
A continuación se dividirán de manera sistemática las diferentes actividades fisiológicas, tratándolas por separado en el doble aspecto orgánico-funcional que tienen.

Fisiología de la nutrición

El origen de toda la cadena alimentaria, ya sea vegetal o animal, se encuentra en el uso que las plantas hacen de la energía solar captada por fotosíntesis y en la absorción de sustancias inorgánicas, con cuyos elementos se pueden sintetizar los alimentos necesarios, almacenar los excedentes y formar los propios tejidos.

En líneas generales, el proceso es el siguiente : los animales herbívoros toman el alimento de las plantas, y posteriormente sirven, a su vez, para la nutrición de los





carnívoros. Este esquema, aparentemente simple, consta de varias etapas, que son las que se estudiarán a continuación.

OBJETIVOS ALIMENTARIOS

El objetivo básico de la alimentación es doble : provisión de energía para llevar a cabo las funciones vitales y reparación del desgaste, además de ayudar también al crecimiento. Para realizar esto son necesarias tres etapas principales, consistentes en la captura del alimento, el proceso digestivo y la distribución de dicho alimento por tejidos y células que lo asimilan por absorción. En esta última fase interviene también el metabolismo o conjunto de los intercambios que tienen lugar dentro del organismo. Dichas funciones y etapas complejas se logran gracias a una serie de órganos y sistemas debidamente articulados y destinados a conseguir el mismo fin.

Captura del alimento. — La adquisición y toma del alimento precede, como es lógico, a las demás fases del proceso nutritivo. Los alimentos pueden presentarse en estado sólido o líquido y los animales suelen dividirse por esto en tres grupos, *herbívoros*, *carnívoros* y *omnívoros*, según se nutran de hierbas, de carne o de ambas cosas. De la forma del alimento o de los hábitos que tienen los animales en consumirlo se derivan importantes consecuencias morfofisiológicas para el aparato digestivo.

La mayoría de las especies animales se alimentan de sólidos, pero algunas también se nutren con líquidos, como los insectos chupadores (hematófagos y fitófagos) y un gran número de endoparásitos, entre los cuales algunos los absorben a través de toda la superficie corporal, mientras que otros, como los nematodos y trematodos, lo hacen normalmente por la boca. Otra distinción es posible asimismo entre los micrófagos, que sólo necesitan porciones sólidas muy pequeñas (tal es el caso de algunos peces y paramecios), y los macrófagos, que consumen cantidades mayores.

Entre los invertebrados. — Los protozoos más simples carecen totalmente de estructuras para capturar el alimento y, por lo tanto, han de ingerirlo directamente en forma líquida, es decir disuelto en el medio ambiente en donde viven. Este proceso puede considerarse como una endósmosis elemental.

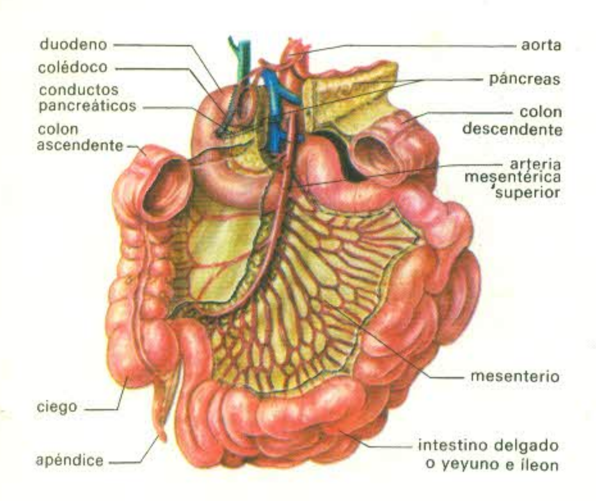
Los protozoos más evolucionados se dirigen, atraídos por quimiotaxia, a la partícula nutritiva y, mediante movimientos ameboideos peculiares, la engloban con los seudópodos que poseen y la incluyen dentro de su citoplasma, iniciándose así un proceso enzimático en la vacuola digestiva. En otros protozoos se observa un surco oral provisto de cilios que, al vibrar, producen una corriente de succión que atrae a las partículas nutritivas. Algunos cordados inferiores también disponen de este sistema.

Los espongiarios tienen una digestión intracelular, lo mismo que los protozoos, y están dotados de unas células provistas de un flagelo, llamadas *coanocitos*, destinadas a tapizar los conductos internos, a capturar los alimentos, a realizar el proceso digestivo y a facilitar la circulación del agua dentro del animal.

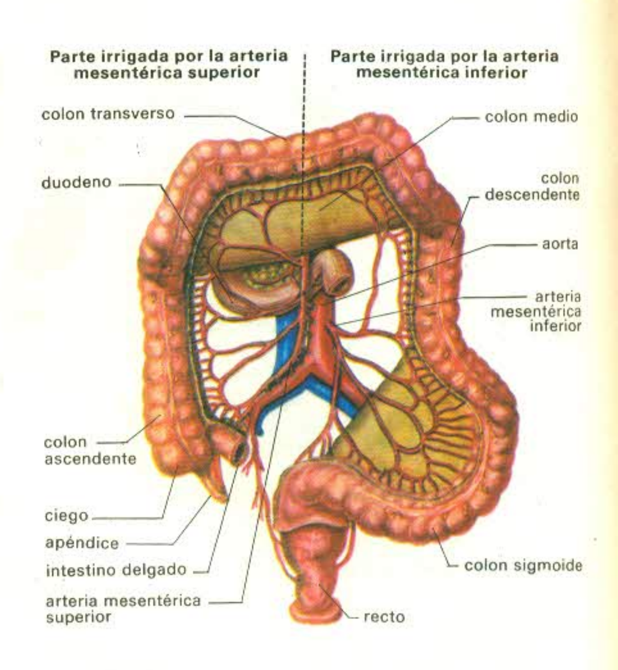
Los celentéreos tienen una boca que comunica con una cavidad por medio de un verdadero tubo digestivo, incompleto en los gusanos y bastante complejo ya en la lombriz de tierra, que consta de boca labiada, faringe succionadora, esófago, buche, molleja musculada, intestino para absorber los alimentos ya digeridos y ano para expulsar los restos.

Entre los vertebrados. — En los vertebrados puede hablarse ya de un aparato digestivo típico. El tratamiento mecánico y químico que sufre el alimento en las cavidades digestivas viene a ser el mismo desde la ingestión hasta la evacuación. Este aparato digestivo consiste básicamente en un largo tubo que comunica con el exterior por dos orificios que son la *boca*, para la entrada, y el *ano* para la salida. Entre ambos extremos existen varios tramos, cada uno de los cuales ejerce una función distinta, aunque todas ellas sean convergentes en la realización del proceso de nutrición.

Después de la boca se encuentra el *esófago*, que en los rumiantes está diversificado en varias partes para el tratamiento mecánico, químico y bacteriano y en los demás animales es un tubo muy elástico. A continuación está el *estómago*, cavidad de tamaño variable en la que los alimentos sufren un proceso predominantemente químico y, en menor grado, mecánico. La cantidad ingerida pasa luego al *cardias* y llega al *intestino delgado*, largo tubo diferenciado en tramos, donde, ayudado por las secreciones producidas por el *hígado* y el *páncreas*, prosigue el proceso químico antes indicado y empieza la absorción alimentaria propiamente dicha. Este intestino se une a otro de mayor diámetro, llamado *grueso*, en el que continúa y finaliza la absorción, iniciándose el depósito y arrastre de los elementos no asimilados, los cuales serán expulsados por el *ano* o terminación del aparato digestivo.



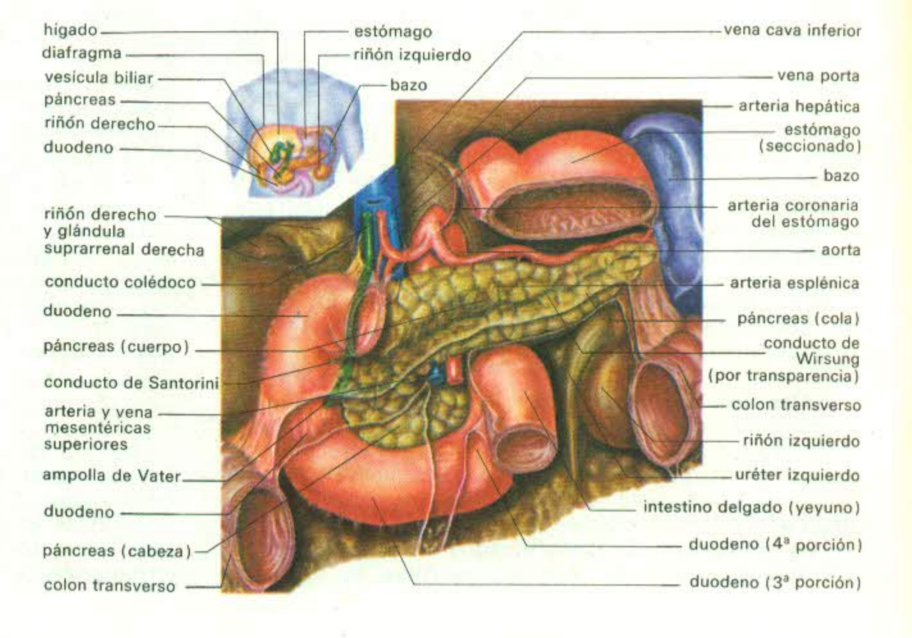
Irrigación del INTESTINO DELGADO por la arteria mesentérica superior.



Irrigación del INTESTINO GRUESO por las arterias mesentéricas superior e inferior.

ligamento triangular izq.
surco del esófago
lóbulo de Spiegel
vena porta
arteria hepática
lóbulo izquierdo
ligamento falciforme
ligamento redondo
lóbulo cuadrado
vena cava inferior
venas suprahepáticas
lóbulo derecho
ligamento triangular derecho
señal del riñón izquierdo
hilio del hígado
conducto colédoco
conducto cístico
vesícula biliar

El HÍGADO, víscera situada en la cavidad abdominal, ejerce múltiples y complejas funciones de carácter fundamental para la vida del organismo.



El PÁNCREAS, glándula voluminosa en la parte superior del abdomen, produce el jugo pancreático por secreción externa y la insulina, reguladora del metabolismo de los hidratos de carbono, por secreción interna.

PROCESO DIGESTIVO

Masticación. — La primera etapa del proceso digestivo está constituida por la *masticación*, o preparación de los alimentos, realizada en la boca. Para ello se requieren unas piezas duras, cortantes y molturadoras *(dientes* y *muelas)*, cuyo número y disposición varían según los animales, sobre todo en función del régimen alimenticio (herbívoro o carnívoro). Simultáneamente se realiza la *insalivación* o humedecimiento de la masa alimenticia mediante un líquido viscoso o saliva. Ésta, segregada por glándulas, contiene amilasa, sustancia enzimática, e inicia un verdadero tratamiento químico.

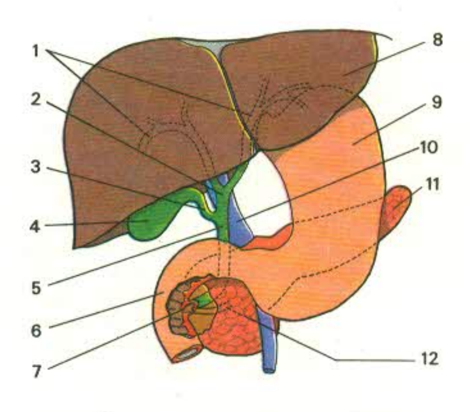
La masticación termina con la *deglución* o paso al esófago del bolo alimenticio. No obstante, éste, cuando se trata de un rumiante, se dirige entonces a la *panza*, amplio divertículo donde se realiza un complejo tratamiento químico-bacteriano del alimento, y luego a la *redecilla*, donde se prosigue y se completa la acción bacteriana, para volver, mediante movimientos antiperistálticos, a la boca en pequeñas porciones y sufrir allí una masticación más perfecta *(rumia)*, acompañada de nueva insalivación. Terminadas estas operaciones, los alimentos descienden, sin pasar por la panza, hacia el *libro* y desde allí al *cuajar*, verdadero estómago de los rumiantes, donde continuará el proceso digestivo.

Paso por el estómago y digestión intestinal. — El alimento, al llegar al estómago, sufre la acción de los ácidos gástricos segregados por esta cavidad y los efectos de ciertas enzimas (cuajo, lipasa gástrica y pepsina) y estas acciones quimiogástricas están acompañadas por otras mecánicas debidas a los movimientos peristálticos. El bolo alimenticio se mezcla así con estos ácidos y enzimas para formar una masa espesa y homogénea *(quimo)* que se dirigirá a través del *píloro* en porciones iguales hacia el siguiente tramo digestivo.

El intestino delgado comienza en una sección curva, el *duodeno*, regada por la *bilis*, procedente del hígado, y el *jugo pancreático*, elaborado por el páncreas. Estas secreciones, por la riqueza enzimática que tienen (colesterina, mucina, tripcina, enterocinasa), facilitan la digestión. Un movimiento ondular peristáltico se produce simultáneamente a la actividad del intestino delgado, al mismo tiempo que las secreciones propias coadyuvan con las anteriores y aportan otras enzimas (aminopeptidasa, peptidasa y lipasa). Gracias a estas acciones combinadas, el quimo se convierte en *quilo*. El último tramo del intestino delgado está constituido por el *yeyuno* y el *íleon*, donde ya hay *absorción* a través de las vellosidades que cubren la mucosa intestinal.

El intestino grueso es la última etapa del proceso digestivo. En las primeras secciones *(ciego* y *colon)* se completa la digestión, gracias a la acción fermentativa de una abundante flora intestinal, y la absorción continúa. Los productos no asimilados se unen en el *recto*, al final del tubo digestivo, y, una vez producida la repleción del mismo, tiene lugar la expulsión al exterior, o *defecación*, por el orificio terminal o *ano*. Así termina el complejo ciclo digestivo.

Absorción. — La *absorción* se verifica por medio de vellosidades intestinales, muy ricas en vasos sanguíneos y linfáticos, que aspiran el quilo intestinal y, a través de ellos, lo transportan al hígado. Este órgano almacena sobre todo los *glúcidos*, en forma de glucógeno. Los vasos linfáticos llevan las *grasas* y los *ácidos grasos* a las células del cuerpo, según las necesidades, y se acumulan en los tejidos adiposos, musculares y conjuntivos. Cabe señalar además que las grasas se producen también por síntesis de los hidratos de carbono.



Vías biliares : 1. Conductos hepáticos derecho e izquierdo; 2. Conducto hepático principal; 3. Conducto cístico; 4. Vesícula biliar; 5. Conducto colédoco; 6. Duodeno; 7. Ampolla de Vater; 8. Hígado; 9. Estómago; 10. Vena porta; 11. Páncreas; 12. Conducto de Wirsung.

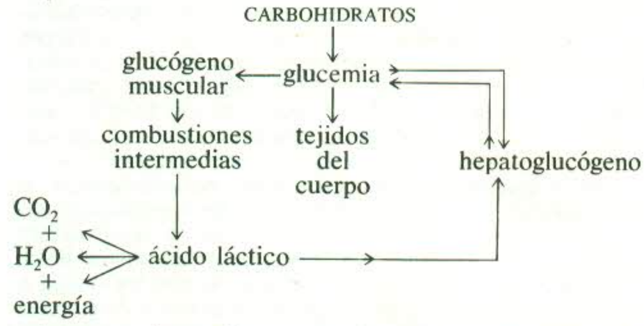
METABOLISMO

El *metabolismo* es el conjunto de las reacciones químicas que tienen lugar en los seres vivos para mantener la vida, favorecer el crecimiento y asegurar la reproducción de los individuos.

División y ciclo dinámico. — De modo puramente teórico, se suele dividir el metabolismo en *anabolismo*, o metabolismo de síntesis, y *catabolismo*, o desasimilación de los substratos energéticos. Ambos se encuentran íntimamente relacionados entre sí por un metabolismo intermediario que, a partir de las unidades bioquímicas de degradación, vuelve a construir materiales más complejos. Existe en la mayoría de los casos un equilibrio dinámico entre el anabolismo y el catabolismo.

El *glucógeno*, factor energético muy importante que procede, según se ha dicho, de la glucosa, llega, a través de las vellosidades intestinales, a los vasos y de éstos al hígado, donde se acumula hasta que sea requerido por los músculos. Se incorpora a la sangre y tiene por misión mantener el nivel de glucosa entre 0,10 y 0,15 % *(tasa glucémica)* para satisfacer las necesidades celulares.

Existe un ciclo dinámico y constante de los carbohidratos del cuerpo como se observa en el siguiente esquema :



Los organismos tienen que disponer de cierta cantidad de alimentos y que éstos sean de determinada naturaleza y clase. De cada alimento ingerido se absorbe una cantidad variable, en función de las necesidades del animal y de la composición de lo que se consume, y ésta obedece al equilibrio dinámico existente en los organismos. Así las exigencias son mayores en individuos que se encuentran en período de crecimiento y menores en los adultos. Por lo tanto, para evitar carencias

alimentarias o excedentes, debe imponerse una estricta *dieta*, que será mucho mejor mientras más se adapte, cuantitativa y cualitativamente, al individuo.

Se consume la mayor parte de energía en el movimiento del animal, pero se emplea también gran cantidad en fenómenos quimioeléctricos y de quimiosíntesis. Todas las variaciones de necesidad energética se manifiestan en forma de calor y, como la producción de energía es un proceso oxidativo que se realiza con la descomposición metabólica del alimento, aquél se mide en *calorías*, cada una de las cuales es equivalente al calor necesario para que un gramo de agua eleve su temperatura en 1 ºC. Estas consideraciones llevan al estudio de las necesidades orgánicas en calorías, del metabolismo en los aspectos basal y total y, finalmente, de los requerimientos organógenos del animal.

Necesidades orgánicas en calorías. — El estudio de todo lo relacionado con la nutrición se llama *dietética*, que puede ser humana y animal, y esta ciencia determina que las necesidades calóricas de un organismo deben quedar satisfechas con la energía contenida en los alimentos. Estos últimos se clasifican en *termógenos*, como los glúcidos y lípidos, que tienen 4,1 y 9,3 cal/gramo respectivamente, y *organógenos*, como las proteínas, con 4,1 cal/gramo.

Conociendo estos valores, se pueden determinar, por lo tanto, las cantidades aproximadas que un organismo necesita para recuperar las pérdidas calóricas. Éstas se calculan mediante las técnicas de calorimetría basadas en una serie de pruebas complejas que exigen una delicada medición y peso de la ingestión de alimentos sólidos, líquidos y aire, así como de las expulsiones de sólidos (heces fecales), líquidos (sudor y orina) y gases.

Aspectos del metabolismo. — El metabolismo constituye una serie de fenómenos que se producen a nivel celular y sin la participación de un órgano especializado. No obstante, el ritmo que tiene está regido por la hormona segregada por la glándula *tiroides* y depende también de la edad, sexo y actividad del individuo así como de la temperatura ambiental. Se divide en dos clases : basal y total.

El *metabolismo basal* se define como la cantidad de energía necesaria para mantener a nivel constante las funciones vitales de un organismo en reposo. La evaluación del mismo se realiza tomando como ambiente exterior la temperatura de 22 ºC y se ha de iniciar 12 horas después de la última comida. En estas condiciones puede estudiarse la serie de cambios metabólicos imprescindibles para mantener la vida de un individuo. Se ha comprobado así que el número de calorías consumidas por un adulto humano es de 1 680 al día. Lógicamente, esta cifra sería más elevada en el caso de personas jóvenes.

Las diferencias entre los animales poiquilotermos, o de sangre fría, y los homeotermos, o de sangre caliente, se hacen más patentes en relación con la temperatura ambiente. Así, los primeros tienen un metabolismo basal más bajo en invierno que en verano, lo que les obliga a adoptar medios de vida compatibles con ese índice metabólico, como sucede con el *letargo* invernal, durante el cual queda reducido al mínimo el quimismo vital. Los segundos, en cambio, han de hacer funcionar ciertos mecanismos para mantener constante la temperatura interna. La producción de calor está destinada a compensar las pérdidas orgánicas, que se deben a la evaporación pulmonar del agua (unos 400 gramos diarios en el hombre), a la evaporación sudoral y al contacto de la piel con el aire. De este modo, al verificarse la pérdida calórica orgánica, tiene lugar la reacción ambiental; si hace calor, disminuyen la alimentación y la actividad física y aumentan la sudoración y la vasodilatación; cuando hace frío, se intensifican el apetito y la actividad respiratoria, al mismo tiempo que se procura reducir la pérdida de calor. Estos mecanismos estabilizadores dejan de funcionar a las temperaturas de neutralización, que son, para un hombre desnudo, 36 ºC en el agua y 27 ºC en el aire y, para un hombre vestido, unos 18 ºC.

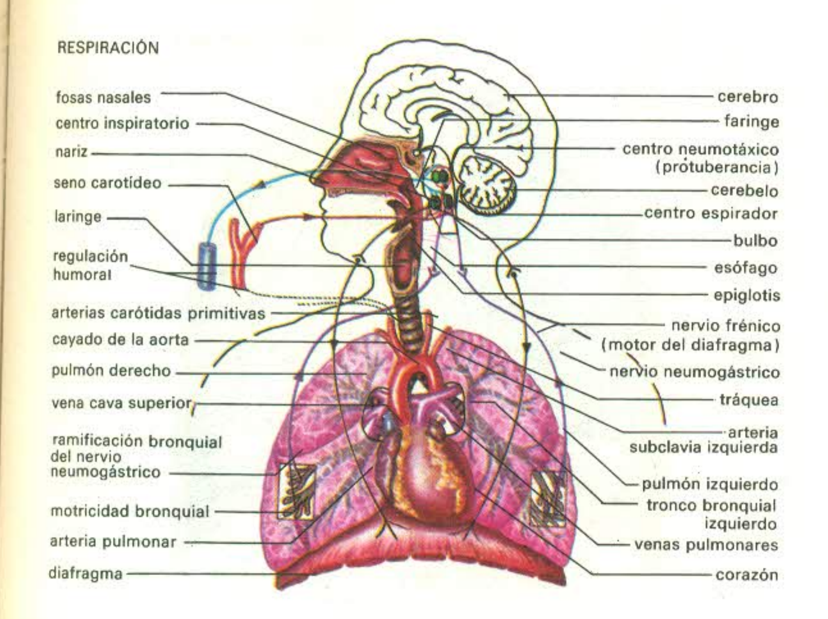
El *metabolismo total* se fundamenta en las exigencias calóricas completas de un organismo animal en actividad y es forzosamente más elevado que el basal ya que dicha actividad supone mayor consumo de calorías. Considerando los diversos factores que intervienen (especie animal, sexo, edad, actividad, peso y talla), se han elaborado unas tablas de metabolismo total que permiten establecer la ración alimentaria adecuada para satisfacer las necesidades de cada animal. Estas tablas son muy útiles en dietética y nutrición y muestran que para la especie humana, según que las actividades sean sedentarias, medias o intensas, son necesarias 2 500, 3 000 ó 4 500 calorías para el hombre y 2 100, 2 500 ó 3 000 calorías para la mujer. La salud y el equilibrio alimenticio de cada individuo requieren el mantenimiento de estos aportes calóricos.

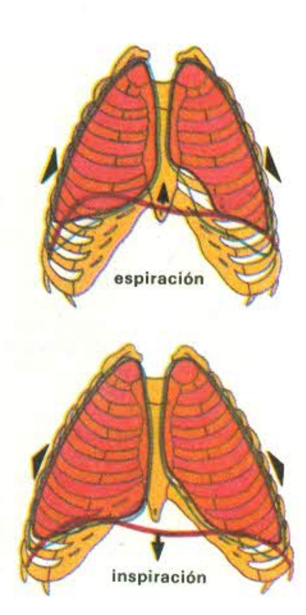
Requerimientos organógenos del animal. — Ninguna ración, por muy bien calculada que esté, sería completa si con ella solamente se cubriesen las necesidades energéticas. En efecto, los tejidos y vísceras sufren un desgaste notable en la actividad que desempeñan y esto exige que haya otro tipo de sustancia en la dieta con objeto de rehacer los componentes protoplásmicos estructurales. Esta misión corresponde a los alimentos *organógenos*, o sea, a las *proteínas*. Se ha podido calcular con cierta precisión la cantidad mínima de éstas que cada hombre o animal doméstico requiere por día. En un adulto humano normal habría que contar con un gramo por kilo de peso y día. Es decir que, para un hombre de 75 kilos, sería de 75 gramos/día. La dosis mencionada se conoce en dietética con el nombre de *mínimo proteico*. No obstante, en la práctica ha de incrementarse este valor mínimo, ya que un adulto realiza un trabajo activo medio y, por lo tanto, debe disponer de una cantidad adicional que, en el ejemplo anterior, podría alcanzar la cifra de 100 gramos/día. Incluso en el caso de un hombre en reposo, la experiencia de los especialistas en dietética aconseja aumentar ese mínimo proteico para compensar las pérdidas imprevistas padecidas por el organismo.

Una *ración alimenticia* bien equilibrada supone que no haya ni carencias ni excesos y que esté ajustada en función del peso, edad, sexo, actividades, etc. No se debe olvidar la importancia que tienen los *minerales* contenidos por regla general en la estructura de los alimentos, que son necesarios en las etapas juveniles para formar los distintos huesos y durante los períodos de gestación y de lactancia de las hembras. Esta ración ha de completarse obligatoriamente con vitaminas, biocatalizadores exógenos, indispensables para el metabolismo, que se encuentran sobre todo en la leche, frutas, verduras, hígado de pescado y levadura de cerveza.

RESPIRACIÓN

Al hablar del metabolismo se ha mencionado que las reacciones oxidantes son esencialmente liberadoras de energía en todos los seres. Puesto que las oxidaciones son posibles gracias al oxígeno aportado por la respiración, se comprende fácilmente la importancia de esta función en tal proceso. Se describen a continuación los





principales mecanismos respiratorios, importantes por la relación que tienen con el metabolismo y con la circulación de la sangre, tema éste que se estudiará detalladamente más adelante.

Formas de respiración. — Pueden distinguirse dos formas genéricas de *respiración : anaerobia* y *aerobia.* La primera es la más elemental y corresponde a ciertos vegetales unicelulares (levaduras) y a animales sencillos que habitan en medios pobres en oxígeno o incluso carentes de él (larvas de moscas, sanguijuelas y otros gusanos). Éstos obtienen el oxígeno a partir de una reserva oxidante o por fermentaciones. De este modo resuelven el problema del aporte energético los seres inferiores e incluso algunos vertebrados durante la fase vital embrionaria. La segunda se expone a continuación mediante la descripción de diferentes niveles, que, en orden ascendente, son : *celular, cutáneo, branquial* y *pulmonar.*

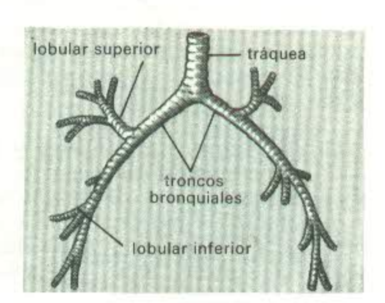
Niveles celular y cutáneo. — Al nivel celular, los sistemas de oxidación captan el oxígeno del entorno ambiental mediante la acción directa de las células, eliminando al mismo tiempo las materias gaseosas residuales, como el vapor de agua y el anhídrido carbónico (CO_2). Dicho de otro modo, el proceso respiratorio celular consiste en un intercambio con el ambiente, basado en la adquisición de oxígeno y la eliminación de anhídrido carbónico.

Los seres de organización más elemental o indiferenciada, como los celentéreos y la mayoría de los gusanos, se caracterizan por la respiración cutánea. Reciben el oxígeno y expelen anhídrido carbónico por difusión a través de una finísima membrana que recubre sus cuerpos. También pueden hacerlo por contacto con el entorno hídrico en que viven, el cual facilita el doble paso del oxígeno a las células y del dióxido de carbono (anhídrido carbónico) al ambiente.

Nivel branquial. — El aumento de tamaño de un animal lleva consigo mayor actividad metabólica general, acompañada de un notable incremento del intercambio gaseoso. Para esto existen varios sistemas, análogos sólo en lo referente a la función realizada, que aseguran al animal un suministro gaseoso continuo, como ocurre principalmente con los seres acuáticos, cuyas *branquias* constituyen la respuesta adecuada al medio hídrico en que se desenvuelven. Las branquias son filiformes en ciertos gusanos (poliquetos) y laminares en el caso de los peces. Siempre están comunicadas con el exterior y pueden estar localizadas en distintas partes del cuerpo del animal (cabeza, cavidad del manto, órganos locomotores, etc.). Por lo general tienen una gran superficie, cubierta por una fina membrana, y están muy bien irrigadas para facilitar el transporte gaseoso. Cumplen de este modo la función de garantizar de manera continua un intercambio gaseoso tomando el oxígeno disuelto en el agua y devolviendo a la misma el dióxido de carbono residual.

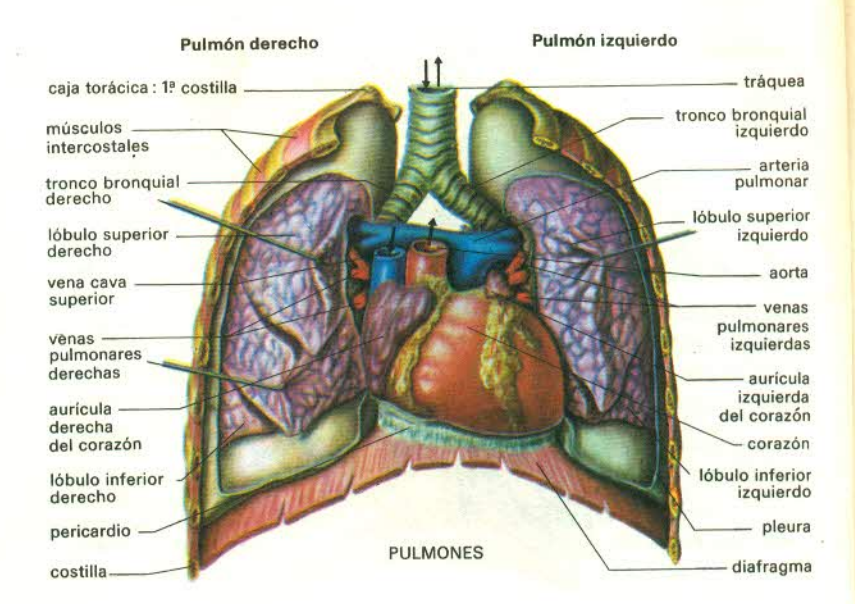
Nivel pulmonar. — La respiración pulmonar es propia de los animales que en tiempos geológicos lejanos abandonaron las aguas e iniciaron la invasión y conquista de la tierra firme. Éstos hubieron de perfeccionar sus aparatos respiratorios, para adaptarse al nuevo entorno, y surgieron entonces primero la respiración traqueal y luego la pulmonar propiamente dicha.

La respiración traqueal es típica de muchos artrópodos (insectos, miriápodos y arácnidos) y consiste en un complejo sistema en el cual de un tronco inicial parten conductos tubulares multirramificados, de finísimo diámetro y con algunos ensanchamientos. El tronco *(tráquea)* se abre al exterior por un estigma u orificio lateral para que el aire penetre por simple difusión en el



Los bronquios, parte del aparato respiratorio, se ramifican en los pulmones para formar los bronquiolos.

Los pulmones, vísceras de la cavidad torácica en las que se verifica la hematosis, fundamento de la respiración, se hallan divididos en lóbulos, cada uno de los cuales está en relación con una ramificación principal de un bronquio que se vuelve cada vez más fina y termina por alvéolos donde se efectúa el intercambio de gases.



interior. En algunos casos, como ocurre con los insectos acuáticos, el aire se adhiere al cuerpo del animal y de este modo constituye una reserva gaseosa para la tráquea durante el tiempo de la inmersión.

La respiración pulmonar tiene una morfología tan variada que apenas puede tipificarse. Únicamente la función respiratoria que realiza es común a todos los seres pulmonados. Los más elementales de éstos son algunos invertebrados, como los caracoles, que tienen un saco pulmonar en una cavidad interna comunicada con el exterior por un orificio *(estoma)* situado junto al borde inferior del caparazón. En seres superiores, como los anfibios adultos, reptiles, aves y mamíferos, los *pulmones* son ya órganos pares simétricos que ocupan una cavidad apropiada (la cavidad torácica) y presentan a veces modificaciones funcionales : respiración combinada cutáneo-pulmonar, en ciertos anfibios; hipertrofia de un pulmón, en algunos reptiles; diversificación pulmonar en sacos aéreos para la adaptación al vuelo, como es el caso en muchas aves.

Embriogénicamente, los pulmones de los vertebrados son evaginaciones de la pared del tubo digestivo, en forma de saco y con posibilidad de ampliar la superficie interna que tienen mediante divisiones y subdivisiones, separadas por tabiques, que forman los *alvéolos pulmonares.* Éstos son de complejidad creciente desde los anfibios hasta los mamíferos superiores. En todos los tipos pulmonares, la superficie interna de dichos órganos está siempre humedecida, para facilitar la disolución de los gases, y el aparato circulatorio participa en el transporte de los gases a las células y desde éstas hacia el exterior. Existen notables diferencias entre los diversos sistemas de ventilación en los animales vertebrados, pero éstas no afectan en absoluto a la función esencial que ha de ejercer cualquier aparato respiratorio, consistente en tomar el oxígeno existente en el aire y liberar el dióxido de carbono.

Movimientos pulmonares y balance respiratorio. — Los pulmones cumplen la función que les está encomendada por medio de dos movimientos (*espiración* e *inspiración* o inhalación), de carácter rítmico y con frecuencia de ejecución muy variable en los vertebrados, según la especie, edad y actividad del animal. Estos movimientos se producen gracias a la intervención combinada de los músculos torácicos, el diafragma y las costillas. En el caso de los animales acuáticos, aunque éstos efectúen o no ligeros movimientos branquiales, es necesaria la renovación del agua del entorno en que viven para mantener un mínimo nivel de oxígeno disuelto en ella.

De forma esquemática podría decirse que la respiración de los seres pluricelulares pasa por tres fases : toma de oxígeno, transporte del mismo por la sangre hasta cada célula y respiración celular o interna. Esta última consiste en una serie de reacciones oxidantes de los alimentos del protoplasma, los cuales serán metabolizados a partir del oxígeno llegado a las células.

SISTEMAS Y LÍQUIDOS CIRCULATORIOS

Para mantener la continuidad metabólica celular es imprescindible llevar alimento y oxígeno a todas las células y, al mismo tiempo, sacar y expulsar los restos inservibles y tóxicos. Este proceso se realiza de diversas formas. En los protozoos bastan las corrientes del citoplasma para efectuar esos intercambios, mientras que en los metazoos intervienen las células epidérmicas y los tejidos subyacentes. a través de los cuales se establecen corrientes por difusión. En los vertebrados, por la mayor complejidad organizativa que tienen, aparecen ya muchos órganos y tejidos implicados en esta función, y existen verdaderos sistemas circulatorios, cuya misión de transporte la realizan líquidos que sirven de nexo o unión entre el ambiente exterior y el medio interno.

Hematosis. — La *hematosis* o relación intercambio-transporte, común a vertebrados e invertebrados, consiste básicamente en el intercambio de gases entre el aire inspirado y el líquido circulatorio, verificado mediante la existencia de vasos sanguíneos, generalmente de diámetro capilar, que están en íntimo contacto con los órganos respiratorios. Debido al número de esos vasos y a la extraordinaria finura de las paredes de los mismos, se hace posible la incorporación de oxígeno a la sangre, o al líquido que haga sus veces, permitiendo también la expulsión del anhídrido carbónico. Este proceso de

hematosis será tanto más complejo cuanto más organizado sea el animal que se considere. En los vertebrados superiores existe concretamente un arco sanguíneo con la exclusiva misión de llevar la sangre a los pulmones.

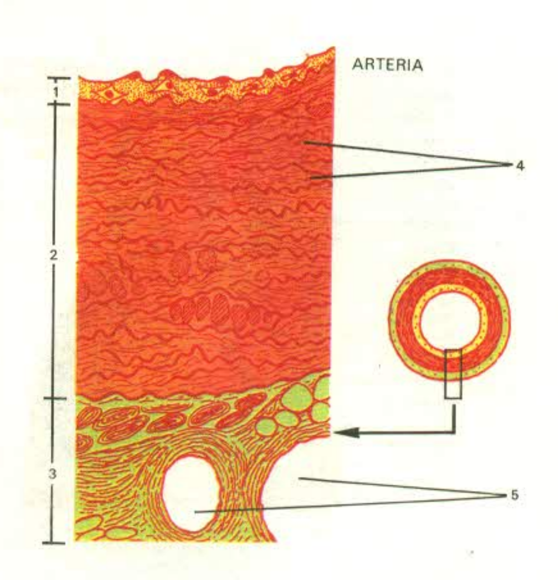
La circulación. — *En algunos invertebrados.* — En los animales de organización más sencilla, como los celentéreos, espongiarios y gusanos, no existe aparato circulatorio y el intercambio con el entorno ambiental líquido se realiza por simple difusión física.

En los anélidos y nemertinos hay ya un aparato circulatorio con función distribuidora y la correspondiente red de conductos. Se advierte, por tanto, cómo, al aumentar la complejidad de un animal, se pasa de un medio interno movible a un líquido circulante. En el siguiente nivel evolutivo existe una circulación ordenada de los líquidos por los conductos de un aparato circulatorio. Éste puede ser *abierto* o *lagunar*, cuando la sangre discurre por unos vasos que comunican con ciertas *lagunas* orgánicas y desde allí se difunden por los tejidos, o *cerrado*, si la sangre entra en contacto con los tejidos a través de finos capilares. Puede hablarse ya de corazón, arterias y sangre, si bien ésta, según el animal de que se trate, es de muy variable composición. También se observa la posición dorsal del corazón en relación con el tubo digestivo y, frecuentemente, la tabicación del mismo en aurículas y ventrículos.

Otras veces, como en el caso de los artrópodos, el corazón es un tubo largo y fino situado en la región dorsal, que recibe la sangre por unas aberturas laterales *(ostiolos)* y la expele al exterior por la aorta media, gracias a unos movimientos de dilatación y contracción *(diástole* y *sístole)*. Por último, también existe un tipo de circulación mediante contracciones peristálticas del vaso central medio y un sistema cerrado de conductos a lo largo del cuerpo, como ocurre en la lombriz de tierra.

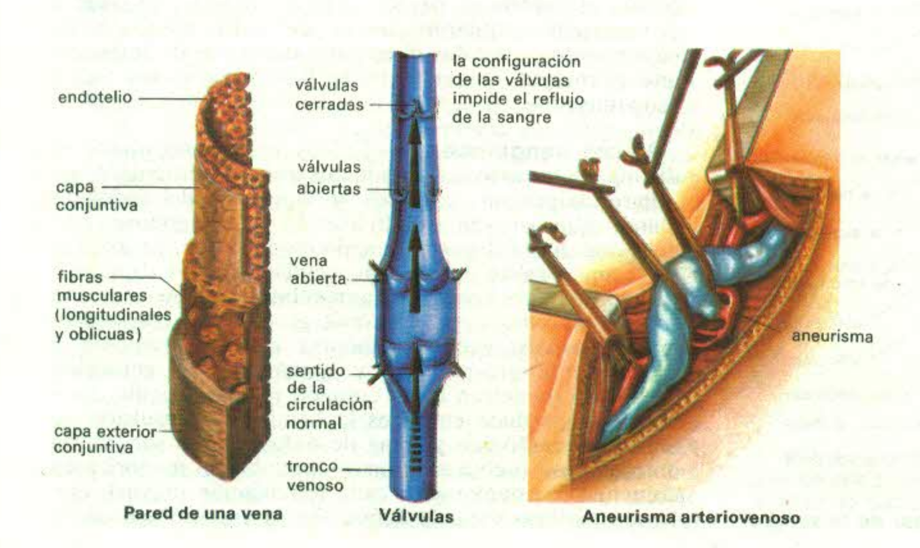
El líquido circulante en los invertebrados es la *hemolinfa*, dentro de la cual se encuentran en suspensión escasas células dotadas de movimiento ameboide. Los asteroideos tienen además otro líquido en las cavidades celómicas, la *hidrolinfa*, de composición parecida al agua marina.

En los vertebrados. — Lo más característico en los vertebrados es la existencia de un órgano impulsor y distributivo, el *corazón*, del que salen *arterias* y al que llegan *venas*, vasos por los que circula la *sangre*, líquido de propiedades muy peculiares. Completando este sistema sanguíneo, existe otro sistema, llamado *linfático*, con conductos y líquidos especiales.



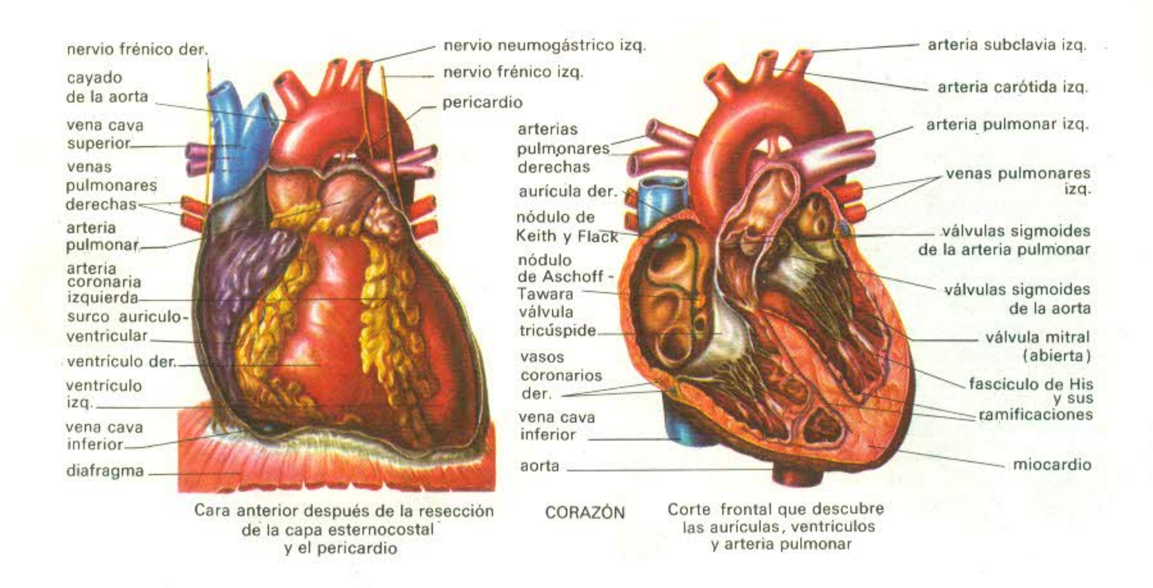
1. Túnica interna o íntima; 2. Túnica media; 3. Túnica adventicia; 4. Fibras elásticas; 5. Vasos que irrigan las paredes de los grandes troncos sanguíneos (vasa vasorum).

El corazón. — El *corazón* consiste esencialmente en una masa muscular hueca con un sistema de válvulas y unos compartimientos que se contraen *(sístole)* y se dilatan *(diástole)* alternativamente para funcionar como una bomba aspirante-impelente que hace que la sangre circule en un sentido único. El conjunto formado por este órgano y todos los vasos dependientes de él, además de los conductos y ganglios linfáticos, se llama *sistema circulatorio*. El corazón está dividido, por medio de tabiques internos, en *aurículas* y *ventrículos*. Hay una aurícula y un ventrículo en los peces, dos aurículas y un ventrículo en los anfibios y en la mayor parte de los reptiles, y dos aurículas y dos ventrículos en las aves y los mamíferos. Entre estos últimos se halla el hombre.



Pared de una vena **Válvulas** **Aneurisma arteriovenoso**

Las venas son vasos o conductos de paredes musculares y conjuntivas, dotados de cierta elasticidad y provistos de válvulas en su interior, por los que circula la sangre desde la periferia hasta el corazón.



Cara anterior después de la resección de la capa esternocostal y el pericardio

CORAZÓN

Corte frontal que descubre las aurículas, ventrículos y arteria pulmonar

La circulación, según la complejidad que tenga, puede ser *incompleta*, cuando la sangre arterial y la venosa se mezclan, y *completa* cuando no es así. En relación con el número de vueltas, existe una circulación *simple* o *sencilla*, en la que la sangre recorre el organismo en una sola vuelta, y *doble* si da una por los pulmones (circulación menor) y otra por el resto del cuerpo (circulación mayor). Según lo explicado la circulación es simple y completa en los peces, doble e incompleta en los reptiles y doble y completa en las aves y mamíferos.

La característica fundamental del corazón es la de contraerse, fenómeno que se produce desde la fase embrionaria del animal. La principal regulación cardiaca se localiza en el *nódulo auricular*, donde células especializadas inician la contracción de las aurículas. Éstas, tras un breve período de pausa, estimulan de manera sincronizada la contracción ventricular, en la cual influyen los sistemas nerviosos parasimpático y simpático, ciertas hormonas y algunas drogas.

La comunicación aurículo-ventricular derecha se efectúa por medio de la válvula *tricúspide* y la aurículo-ventricular izquierda por la válvula *bicúspide* o *mitral*. Otras válvulas, llamadas *semilunares*, ponen en comunicación el ventrículo derecho con la arteria pulmonar y el ventrículo izquierdo con la aorta. La secuencia de movimientos o latidos determina una serie de impulsos que propulsan la sangre y la llevan hacia los vasos sanguíneos.

Vasos sanguíneos. — En los *vasos sanguíneos* se distinguen las *arterias*, conductos gruesos, portadores de sangre oxigenada, elásticos y tapizados de endotelio plano, que se van subdividiendo y haciéndose más delgados, hasta llegar al tamaño de capilares, en los que se recogen gases de desecho celular. Dichos capilares, por confluencia con otros, aumentan de diámetro y dan lugar a las *venas*, cada vez más gruesas por convergencias sucesivas; éstas, portadoras de sangre venosa o empobrecida en oxígeno y abundante en anhídrido carbónico, penetran en el corazón por la aurícula derecha y se produce entonces la hematosis (expulsión de anhídrico carbónico y toma de oxígeno). La sangre, ya enriquecida, vuelve al corazón (circulación menor) para comenzar de nuevo otro ciclo (circulación mayor), que tiene un ritmo variable según sea la especie animal, la

Esquema de la circulación mayor y menor de la sangre.

edad y otras muchas circunstancias. El ciclo circulatorio es, en cambio, igual para los animales de circulación doble y completa (aves y mamíferos) y se puede representar esquemáticamente, después de iniciarse en el ventrículo izquierdo, de la siguiente manera:

VENTRÍCULO IZQUIERDO → arteria aorta → distribución orgánica → capilares → venas → venas cavas → AURÍCULA DERECHA → válvula tricúspide → VENTRÍCULO DERECHO → arteria pulmonar → pulmones (hematosis) → 4 venas pulmonares → AURÍCULA IZQUIERDA → válvula bicúspide → VENTRÍCULO IZQUIERDO → se inicia de nuevo el ciclo.

(Las flechas que figuran en el esquema anterior significan «pasa a».)

Esta complicada mecánica funcional tiene como misión exclusiva la de impulsar y mover rítmicamente la sangre, líquido esencial para la vida que garantiza la continua nutrición gaseosa y alimenticia de las células.

La sangre. — La *sangre*, debido a la existencia de un pigmento llamado *hemoglobina*, es un líquido de color rojo, compuesto fundamentalmente de agua que lleva en solución un considerable número de sustancias y, en suspensión, elementos celulares de diversos tipos. Entre los principales componentes que tiene se pueden señalar el plasma, los leucocitos, los eritrocitos y los trombocitos.

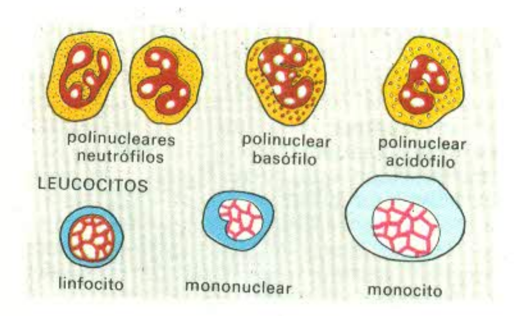
El **plasma,** líquido rico en agua, proteínas, sales minerales y elementos residuales, no tiene color y carece de corpúsculos y pigmentos.

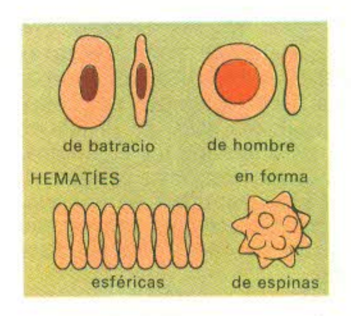
Los **leucocitos** o *glóbulos blancos*, más abundantes en la linfa que en la sangre, son células nucleadas de formas muy diversas (linfocitos, monocitos, granulocitos, etc.), cada una de las cuales desempeña una determinada función. La mayor parte de ellos neutraliza los agentes microbianos por medio de *fagocitosis;* por esa razón aumentan en número durante los procesos infecciosos. Viven aproximadamente de 10 a 13 días y la concentración por milímetro cúbico de sangre es distinta para cada especie animal.

Los **eritrocitos** o *glóbulos rojos* son inicialmente nucleados en los mamíferos superiores, aunque luego se vuelven anucleados. En los mamíferos inferiores y demás vertebrados son siempre nucleados. Hay un gran número de ellos, unos 5 millones por milímetro cúbico en la sangre humana, y existen aún más en las edades juveniles y en los habitantes de zonas de gran altitud. En el citoplasma de estos glóbulos se encuentra la *hemoglobina*, pigmento en el que se advierte la presencia de hierro y al cual se debe la fuerte coloración roja que los caracteriza, así como el nombre de *hematíes* que se les da frecuentemente. La importancia de ese pigmento es decisiva en el proceso respiratorio. La función principal de los eritrocitos es el transporte de oxígeno hasta las células a través de los vasos sanguíneos. Si la concentración numérica, diferente para cada animal, desciende, se produce una enfermedad *(anemia)*, cuya gravedad depende del grado de esta disminución.

Los **trombocitos,** llamados también *plaquetas*, son menores que los anteriores, anucleados y de forma discoidal. Cuando se rompen, liberan una sustancia llamada *tromboplastina*, fundamental en el proceso de coagulación.

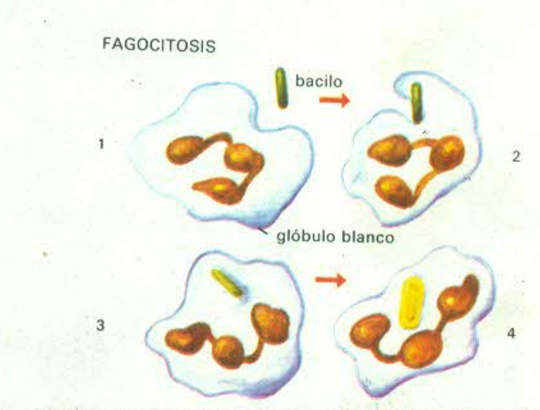
Las funciones de la sangre son tan importantes como variadas. Además de la ya mencionada de transporte del oxígeno desde el pulmón hasta todas las estructuras del organismo, pueden señalarse la función nutritiva, puesto que lleva este líquido las sustancias absorbidas por el intestino; la de regulación térmica, consistente en distribuir el calor por las distintas zonas del cuerpo; la acción excretora, al arrastrar los restos catabólicos; la acción inmunizante, gracias al transporte de leucocitos, anticuerpos y sustancias protectoras; y, finalmente, la contribución al equilibrio acuoso del organismo, mediante el intercambio de agua entre los diversos compartimientos líquidos.





Los leucocitos, células nucleadas carentes de hemoglobina, y los hematíes, corpúsculos o glóbulos rojos, se encuentran en la sangre.

Bioquímica respiratoria. — Los movimientos de inspiración y espiración suministran continuamente aire a los pulmones. En la composición de la sangre se ha visto como los eritrocitos tienen un pigmento, la hemoglobina, que, desde el punto de vista químico, es un heteroproteído con un átomo de hierro incorporado y una extraordinaria avidez por el oxígeno, con el que se combina, al nivel de los alvéolos pulmonares, para formar la *oxihemoglobina*, compuesto inestable de color rojo. Éste, en las células, se disocia y libera oxígeno, que penetra por ósmosis y difusión en los tejidos.



1. El glóbulo blanco emite seudópodos para rodear el bacilo; 2. La célula invagina el bacilo; 3. Éste se incorpora a ella; 4. Las enzimas lisosómicas empiezan a digerirlo posteriormente.

La siguiente etapa consiste en la oxidación de la hemoglobina, que se relaciona con la reducción del ion bicarbonato sódico disuelto en el citoplasma del eritrocito, que se convierte en ácido carbónico (CO_3H_2). Al mismo tiempo, la hemoglobina reducida se transforma en oxihemoglobina de carga negativa. Se produce luego una reacción que corresponde a la escisión del ácido carbónico en anhídrido carbónico y agua, los cuales van a localizarse en el alvéolo pulmonar. Mientras tanto, en los tejidos tienen lugar las mismas reacciones, pero en sentido contrario : el anhídrido carbónico producido a nivel celular penetra en el eritrocito y, al unirse con el agua, forma ácido carbónico que, por oxidación, se transforma en ion bicarbonato. Esta reacción se completa con la reducción de la oxihemoglobina y la liberación del oxígeno, todo lo cual será captado por las células.

La respiración tiene, por consiguiente, como objeto la penetración del O_2 en todas las células vivas del cuerpo, mediante la acción conjugada de los aparatos respiratorio y circulatorio. Una vez realizada ésta, se producen las complejas reacciones de oxidación con los alimentos, de las que se desprenden anhídrido carbónico y agua, al mismo tiempo que se libera gran cantidad de energía. Estas variadas actividades forman parte del metabolismo general y de ellas emanan calor natural y energía para las contracciones musculares.

Sistema linfático. — La *linfa* es un líquido coagulable, casi incoloro, ligeramente alcalino, que sirve de intermediario en los intercambios nutritivos entre la sangre y los tejidos. Se compone de sales, lípidos, proteínas, fibrinógeno y urea.

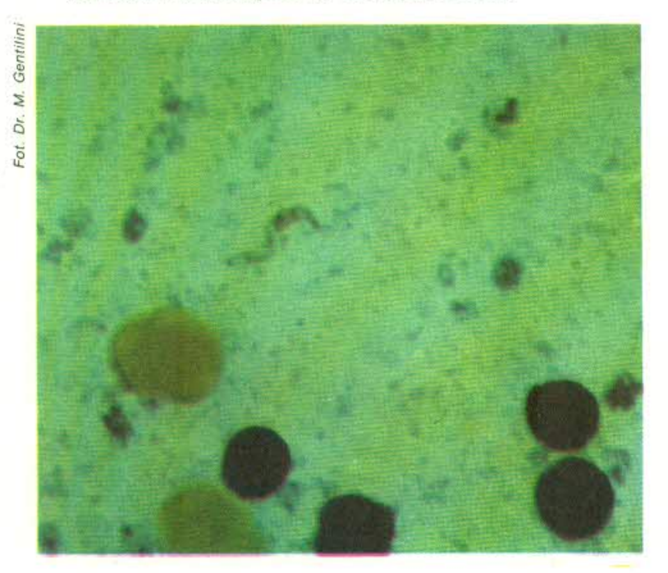
La circulación linfática, propia de los vertebrados, completa la sanguínea. La linfa consiste esencialmente en un filtrado de plasma formado por exudación de agua a través de las paredes capilares. Una de las funciones que cumple es la inmunitaria y para ello actúa de un modo extracelular, incorporándose finalmente a la circulación sanguínea.

Los líquidos intercelulares corren por unos vasos muy finos, de paredes muy delgadas, que, por convergencia, se transforman en minúsculos vasos linfáticos. Todos éstos acaban uniéndose en el *gran conducto torácico*, que desemboca, cerca del corazón, en el sistema venoso. El líquido linfático se encuentra también en el organismo animal en unos engrosamientos nodulares llamados *ganglios*, productores de *linfocitos*, de acción defensora contra los gérmenes patógenos.

El *bazo* es el principal órgano formador de linfa y simultanea esta misión con la de retener la sangre en su trama interna y destruir los eritrocitos gastados.

Análisis microscópico de un tripanosoma.

Fot. Dr. M. Gentilini



Fisiología del movimiento

El animal, desde el unicelular más elemental hasta el más complejo del reino, se distingue por tener una alimentación *heterótrofa*, es decir que al no sintetizar los alimentos (contrariamente a las plantas *autótrofas*) ha de ir a buscarlos. Para esto necesita desplazarse, cambiar de posición, *moverse*.

El problema del movimiento se resuelve mediante estructuras apropiadas. Desde el punto de vista histológico, existen tejidos diferenciados entre los cuales algunos son de apoyo e indeformables, como los esqueléticos, y otros son motores, como el muscular, cuyas principales características son la elasticidad y la contractilidad. Hasta los más sencillos metazoos están dotados de sistemas contráctiles ya que la movilidad implica la existencia del músculo. A continuación se expone el movimiento como tal, empezando por los tipos más elementales para llegar a los de mayor complejidad, complementando este estudio con una información sobre el comportamiento de los tejidos esqueléticos.

Seudópodos, cilios y flagelos. — Los **seudópodos,** consistentes en prolongaciones protoplásmico-celulares de carácter temporal que aparecen al producirse movimientos de flujo del protoplasma gracias a la flexibilidad de la membrana, sirven no solamente de órgano de locomoción sino también para la captura del alimento o *fagocitosis*. Esos movimientos se deben a estímulos químicos que provocan la llamada *quimiotaxis*, propia de los seres más elementales, como algunos protozoos o rizópodos y leucocitos.

Los **cilios,** apéndices protoplásmico-filamentosos que sobresalen de la superficie de una célula o de un epitelio, están dotados de un movimiento vibratorio, casi siempre en la misma dirección y favorecido por la simultánea segregación mucosa de las células vecinas, que hace posible la captura del alimento en animales como los briozoos, bivalvos y anémonas de mar. Además de existir animales con cilios propiamente dichos, algunos otros animales superiores poseen tejidos epiteliales ciliados, como es el caso de los espermaductos y oviductos, expulsores de las células sexuales (espermatocitos y ovocitos).

Los **flagelos,** más largos que los cilios, se caracterizan por el movimiento ondulante o de látigo. Gracias al microscopio electrónico, se sabe actualmente que la estructura de los flagelos está constituida por una membrana externa, prolongación de la plasmática, en el interior de la cual se encuentra una matriz con un par central de fibrillas sencillas rodeado de otras nueve dobles periféricas. Este conjunto se fija en el citoplasma por un *cuerpo basal* o *blefaroplasto* de forma cilíndrica. También existen flagelos dotados de finísimos filamentos laterales o *mastigonemas*. Suele haber un flagelo por célula, aunque a veces hay más, y el movimiento producido se propaga en ondas longitudinales. Los flagelados tienen gran importancia en medicina ya que muchas familias de ellos son parásitas del hombre, además de constituir agentes patógenos. Entre los géneros más conocidos se pueden citar los tripanosomas, causantes de la enfermedad del sueño.

El esqueleto del hombre sostiene los órganos blandos y sirve de superficie de inserción a los músculos.

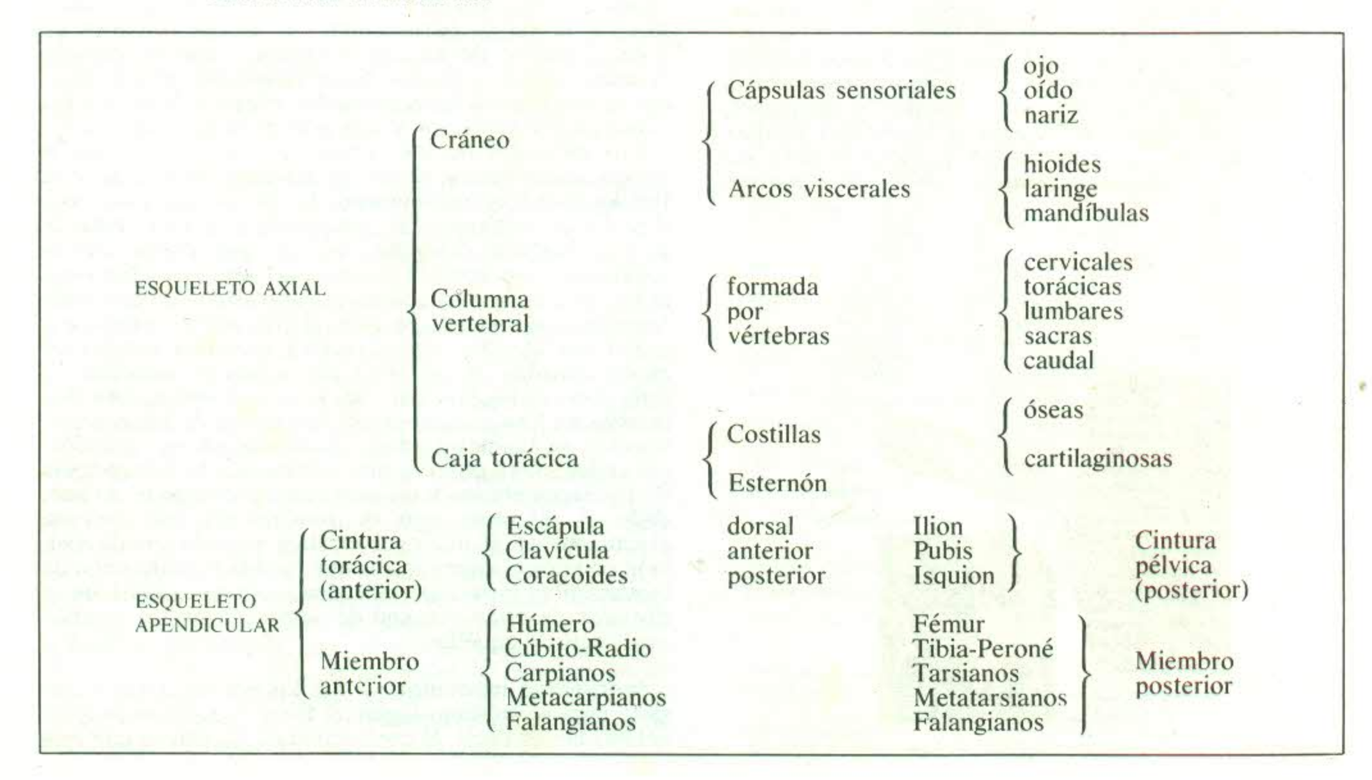
Esqueletos externos. — Las piezas rígidas, que confieren solidez y protección al cuerpo y en las que se insertan los tejidos musculares, forman el *esqueleto*. Éste no existe en los seres más sencillos, como los gusanos, parásitos y lombrices de tierra, pero es imprescindible cuando el cuerpo aumenta de tamaño. Es más consistente en los animales terrestres que en los acuáticos, ya que en éstos la elevada densidad del medio ambiente hace que dentro de éste estructuras corporales mayores se sostengan mejor que en tierra. Así algunas grandes medusas carecen de esqueleto.

El esqueleto puede encontrarse en el exterior *(exoesqueleto)* o en el interior del animal *(endoesqueleto)*. Los artrópodos tienen exoesqueleto y los músculos se insertan en el interior de las piezas quitinosas. A pesar de la rigidez exterior, estos animales poseen extraordinaria movilidad. Numerosos moluscos poseen conchas semejantes a la cutícula calcificada. A veces las placas esqueléticas son móviles, como en la estrella de mar. Los endoesqueletos son una de las características de los animales vertebrados.

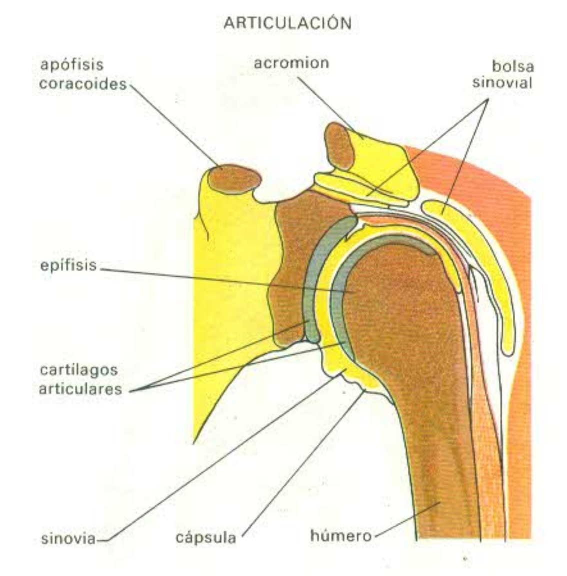
Esqueleto de los vertebrados. — Las primeras muestras de endoesqueleto se encuentran en los espongiarios y en los pólipos, pero donde éste alcanza más desarrollo es en los vertebrados para poder sostener una masa corporal mayor.

Los componentes de esas estructuras son los huesos, de cuya composición ya se ha hablado al tratar del tejido esquelético u óseo. Según la Mecánica, la mejor forma de lograr una equilibrada distribución de la masa corporal consiste en trazar un eje longitudinal *(esqueleto axial)* cruzado por ejes laterales *(esqueleto apendicular)*. En el siguiente cuadro se señala la distribución de los huesos en el hombre :

Distribución de los huesos



ESQUELETO AXIAL	Cráneo	Cápsulas sensoriales	ojo oído nariz		
		Arcos viscerales	hioides laringe mandíbulas		
	Columna vertebral	formada por vértebras	cervicales torácicas lumbares sacras caudal		
	Caja torácica	Costillas	óseas cartilaginosas		
		Esternón			
ESQUELETO APENDICULAR	Cintura torácica (anterior)	Escápula Clavícula Coracoides	dorsal anterior posterior	Ilion Pubis Isquion	Cintura pélvica (posterior)
	Miembro anterior	Húmero Cúbito-Radio Carpianos Metacarpianos Falangianos		Fémur Tibia-Peroné Tarsianos Metatarsianos Falangianos	Miembro posterior



Sistema articular. — En los exoesqueletos es posible la movilidad gracias a zonas flexibles y blandas, llamadas *articulaciones*, que son completamente diferentes a las de los vertebrados y menos móviles. La inserción músculo-tendinosa se localiza en el interior de la estructura del esqueleto, mediante quitino-fibrillas, cuya analogía funcional con los tendones permite asimilarlas a estos últimos.

Antes de estudiar las articulaciones en los animales con endoesqueleto, es preciso señalar que un hueso largo consta de una *diáfisis* central y de una *epífisis* en cada extremo. Mientras el hueso es joven, el enlace entre la diáfisis y las epífisis se hace mediante *cartílagos de conjunción*. Los tendones se insertan luego en la zona envolvente del hueso, llamada *periostio*, para dar así una unión bastante resistente.

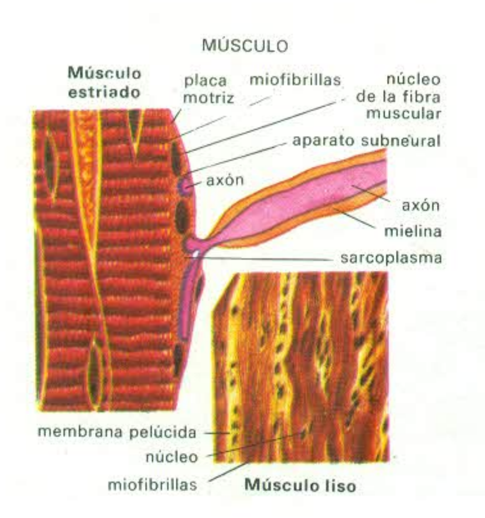
Las articulaciones, estructuras que mantienen la continuidad esquelética y permiten en ocasiones la movilidad, son de tres tipos : diartrosis, anfiartrosis y sinartrosis.

Con la **diartrosis,** gracias a unos *ligamentos* conjuntivos, se consigue gran movilidad. En los extremos del hueso se encuentran unas cápsulas de *líquido sinovial*, de efectos lubricantes, que facilitan el funcionamiento de la articulación y suavizan los rozamientos. A veces hay unos *meniscos*, a modo de almohadillas cartilaginosas con caras adaptadas a las superficies óseo-articulares, cuya misión consiste también en disminuir los efectos del roce. Los mejores ejemplos de diartrosis son la articulación fémoro-tibio-rotuliana (rodilla) y la escápulo-humeral (hombro).

La **anfiartrosis,** por su movilidad, se sitúa entre la diartrosis y la sinartrosis. Tiene ligamentos articulares y, a veces, menisco, pero carece de cavidad y de cápsulas sinoviales. Permite un movimiento limitado y, como ejemplo, pueden citarse las articulaciones de la columna vertebral, con la excepción de las dos primeras vértebras (atlas y axis).

En la **sinartrosis,** los bordes óseos de cada pieza se hallan soldados y sin movilidad posible, realizando así una unión llamada *sutura*. Es el caso de los huesos craneales, unidos a lo largo de unos bordes rugosos (suturas craneanas) como dentelladuras entrelazadas.

Lo afirmado acerca de las articulaciones en general es aplicable para todos los vertebrados, aunque, como es lógico, cada especie posee algunas particularidades diferenciadoras.



Sistema muscular. — Se ha estudiado ya la estructura histológica del tejido muscular y ahora queda por analizar la funcionalidad contráctil del mismo.

Los invertebrados tienen fibrillas especializadas o *mionemas* en las vorticelas. Los celentéreos, al ser más perfeccionados, poseen ya algunos planos musculares en las paredes que son capaces de funcionar de modo antagónico y permitir la contracción o extensión del animal en función de los estímulos ambientales. Los platelmintos, dotados de fibras musculares longitudinales, dorsoventrales y transversales dispuestas en triple estrato, pueden, por la acción conjunta de las mismas, realizar movimientos de gran complejidad. Los nematelmintos o gusanos cilíndricos tienen un sistema muscular más sencillo, parecido al de los celentéreos por las células contráctiles que poseen. Los insectos, los arácnidos y la mayor parte de los crustáceos disponen en todo el cuerpo de músculos variados, por la forma o función, y con actividades perfectamente coordinadas, que se insertan en las rugosidades internas de la cara del exoesqueleto protector y dan gran movilidad al animal.

Los músculos de los vertebrados son piezas más o menos voluminosas, según el animal considerado y la función que tengan encomendada. Se insertan por uno o dos de los extremos, lo cual implica la existencia de formas bastante variadas, en las que predomina la fusiforme. Son también diversas las secciones transversales, aunque la más común es la ovalada. La inserción representa un apoyo, en general fijo por un extremo y móvil por el otro. La estructura muscular cambia de modo sensible si se trata de animales acuáticos o terrestres; en los primeros, los músculos suelen estar dispuestos en forma segmentaria, con objeto de lograr movimientos ondulantes de desplazamiento; en los segundos, sin embargo, se observa una tendencia a la desaparición de los segmentarios y un aumento de los que no lo son, dado el diferente tipo de movimiento que han de efectuar. Esto justifica que exista a menudo una disposición en planos superpuestos que facilita la realización de movimientos muy especializados, a veces exclusivos, y distintos de otros que son de acción general y complementarios de aquéllos.

Inervación muscular. — Sin los nervios sería imposible para el músculo lograr el fin y la función propios del mismo, es decir, la contractilidad. Sabido es que ésta

no puede producirse cuando los nervios de un conjunto muscular se inhabilitan para dicha función a causa de un trauma o de una enfermedad infecciosa, como la poliomielitis. Al presentarse estas circunstancias, el músculo aparece íntegro desde el punto de vista histológico, pero funcionalmente paralizado por faltarle la correspondiente inervación.

De esto se deduce la extraordinaria importancia de la inervación en la actividad muscular. Las fibras musculares están gobernadas por placas neuromotrices y el efecto contráctil se consigue cuando las corrientes del sistema nervioso central llegan, a través del nervio correspondiente, a la zona muscular que ha de contraerse. Se puede demostrar este fenómeno por vía experimental, bloqueando los accesos de impulsos neuromotores a las placas nerviosas terminales mediante el uso de un neuroinhibidor fuerte. Se produce entonces una total relajación muscular, con pérdida completa del tono o dureza normal del músculo, el desplome del cuerpo y el subsiguiente descenso de temperatura. Una vez estimulada dicha zona, se inicia un complejo proceso de actividad neuromuscular, combinada con acciones bioquímicas.

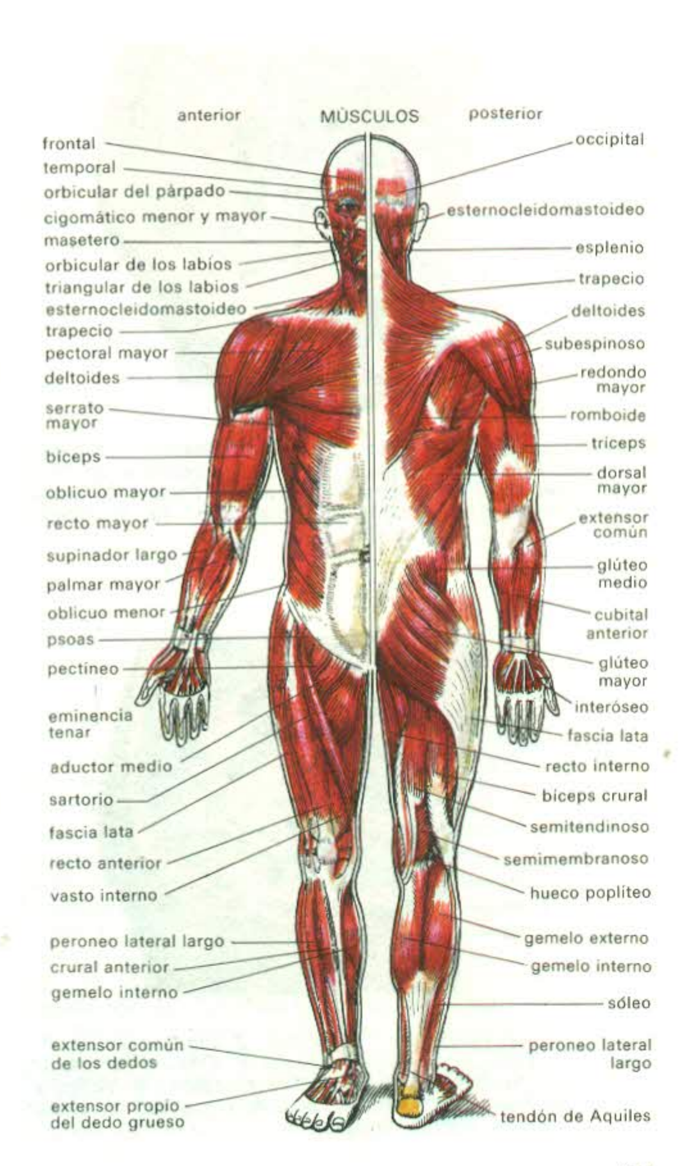
Contracción muscular. — El movimiento contráctil se divide en tres fases : de *latencia*, sin actividad mecánica aunque sí bioenergética, de *contracción*, que dura algo más, y de *relajamiento*, en la que el músculo recupera la longitud y aspecto iniciales. La duración de estas fases se expresa en centésimas de segundo. El músculo, si la excitación se realiza a menudo y en cortos intervalos, entra en estado *clónico* y, cuando se intensifica esta frecuencia, llega al estado *tetánico* o de contracción continua. Los músculos en muchos vertebrados superiores, si éstos están despiertos, mantienen su dureza gracias al estado de tetania que existe en algunas fibras. Esta dureza, llamada *tono*, es imprescindible para poder andar o mantenerse erguido y se pierde al dormir. La *atonía* o falta de tono trae consigo la flaccidez muscular.

Se ha estudiado ampliamente la contracción muscular tetánica, propia de los músculos estriados, realizando numerosos experimentos en los insectos y se ha comprobado que suele ser muy rápida, mientras que la contracción muscular tónica, característica del tejido liso, es mucho más lenta.

Bioquímica muscular. — Hay acción muscular cuando sobre las fibras de *miosina* se deslizan las fibrillas de *actina*, componentes bioquímicos que hacen posible este desplazamiento gracias a la existencia de unos enlaces entre ambas proteínas que permiten establecer una serie de reacciones consumidoras de gran cantidad de energía. Ésta se creía hasta hace poco que procedía sólo de la simple oxidación del glucógeno, pero actualmente se sabe que dicha oxidación va acompañada además de otros procesos. Un músculo en reposo contiene A. T. P. (trifosfato de adenosina), glucógeno (del que hay también una reserva en el hígado), fosfocreatina (PC) e iones Ca^{++} y Mg^{++}. Cuando el músculo está en contracción, los componentes mencionados producen multitud de reacciones : el glucógeno se convierte en ácido láctico por glucólisis ; el A. T. P. se transforma en A. D. P. (difosfato de adenosina) e incluso en M. D. P. (monofosfato de adenosina) por un proceso de reducción; y, a partir de la fosfocreatina, se obtienen creatina y fosfato, igualmente por reducción. Cuando hay suficiente A. T. P. y Ca^{++}, se consigue la contracción de fibras estriadas al formarse el complejo *actinomiosina*. Al bajar el nivel cálcico, el complejo se escinde y se produce la relajación.

Estas reacciones liberan mucha energía, cuyo consumo se hace de la siguiente forma : el glucógeno produce energía, se degrada en ácido láctico y, a partir de C y P, reconstruye la fosfocreatina; ésta se escinde y la energía liberada contribuye a la nueva síntesis del A. T. P., que libera a su vez energía para la contracción muscular. Cuando un músculo se fatiga, los niveles de glucógeno, A. T. P. y Ca se reducen al mínimo, mientras que el ácido láctico llega al máximo, lo que determina la inactivación de las placas neuromotoras terminales y el cese de la actividad muscular.

El calor liberado a partir de la energía desprendida en la actividad muscular es imprescindible para otras variadas reacciones corporales y para la regulación térmica general. Cabe destacar el papel fundamental que desempeñan en esas complejas reacciones las enzimas, sin las cuales no sería ni posible ni tan elevado (30 %) el coeficiente de aprovechamiento de la energía, muy superior, por ejemplo, al de los motores más perfeccionados que haya podido realizar el hombre (14 %).

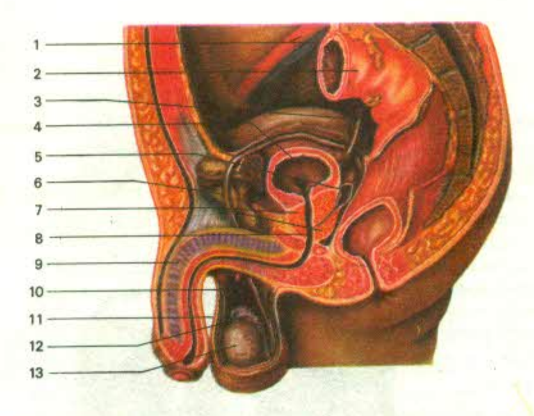


Biogénesis

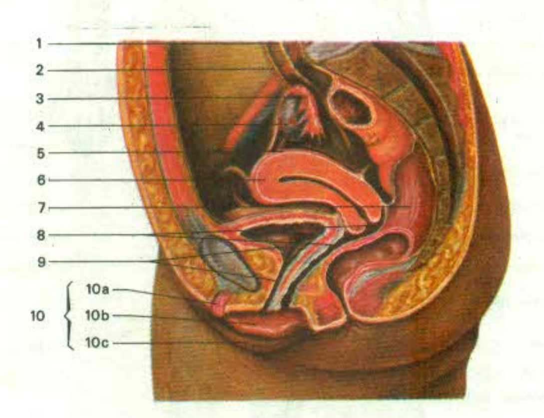
La reproducción, ya tratada en su aspecto celular y pluricelular u orgánico, merece que se estudie ahora en el campo de la *Biogénesis* o capacidad que todo individuo (animal o planta) tiene para producir nuevos individuos semejantes a los progenitores. Todo ser vivo, por consiguiente, procede de otro que le ha dado origen.

Morfofisiología de la reproducción. — En el capítulo dedicado a la Biología se señaló la existencia de las formas gámica y agámica (sexual y asexual respectivamente). Entre las sexuales se mencionaron los tipos de célula a cuyo cargo corre la realización del proceso reproductivo.

La morfofisiología estudia la reproducción sexual, forma normal de multiplicación de los animales y de muchos vegetales. Ésta tiene lugar a partir de células sexuales o germinales, producidas por los padres en órganos especializados que reciben el nombre de *gónadas* (*ovarios* en las hembras y *testículos* en los machos).



Organo genital masculino : 1. Vasos iliacos externos; 2. Recto; 3. Uréter; 4. Vejiga; 5. Vesícula seminal; 6. Conducto deferente; 7. Próstata; 8. Uretra; 9. Pene; 10. Vasos espermáticos; 11. Escroto; 12. Epidídimo; 13. Testículo.



Órgano genital femenino : 1. Uréter; 2. Ligamento útero-ovárico; 3. Trompa; 4. Ovario y óvulo; 5. Cuerno del útero; 6. Útero; 7. Recto; 8. Cuello uterino y vagina; 9. Vejiga y uretra; 10. Vulva (a. Clítoris; b. Labio menor; c. Labio mayor).

Los ovarios, en un ambiente húmedo y rico en hormonas, producen *óvulos* que, una vez maduros, descienden impulsados por acción muscular y vibrátil a lo largo del *oviducto*, donde las glándulas anejas pueden rodearlos de sustancias nutricias. El oviducto termina en el *útero*, órgano hueco, impar y mediano, con forma de pera aplastada en sentido anteroposterior y con la base hacia arriba, situado entre la vejiga y el recto. En él anida y se desarrolla normalmente el óvulo fecundado. Suele existir también un *receptáculo seminal* y, en muchos animales, una *vagina*.

Los dos testículos se hallan situados en el bajo abdomen y cumplen la misión de producir *espermatozoides* (llamados también *espermatozoos* o *espermatocitos*). Están recubiertos por el *escroto*, bolsa protectora en cuyos extremos se encuentran la *vesícula seminal* y el órgano copulador, denominado *pene*. En algunos animales se encuentran glándulas bulbouretrales y prostáticas, cuyas secreciones activan a los espermatozoos y favorecen la impulsión de los mismos al receptáculo femenino. También son abundantes las hormonas masculinas en el ambiente espermático.

Desde el punto de vista fisiológico, debe señalarse la riquísima extensión y densidad circulatoria arteriovenosa que nutre las glándulas sexuales, lo mismo masculinas que femeninas, así como la abundante inervación de las mismas. La función sexual está cíclicamente regida por fases sucesivas de actividad y de calma.

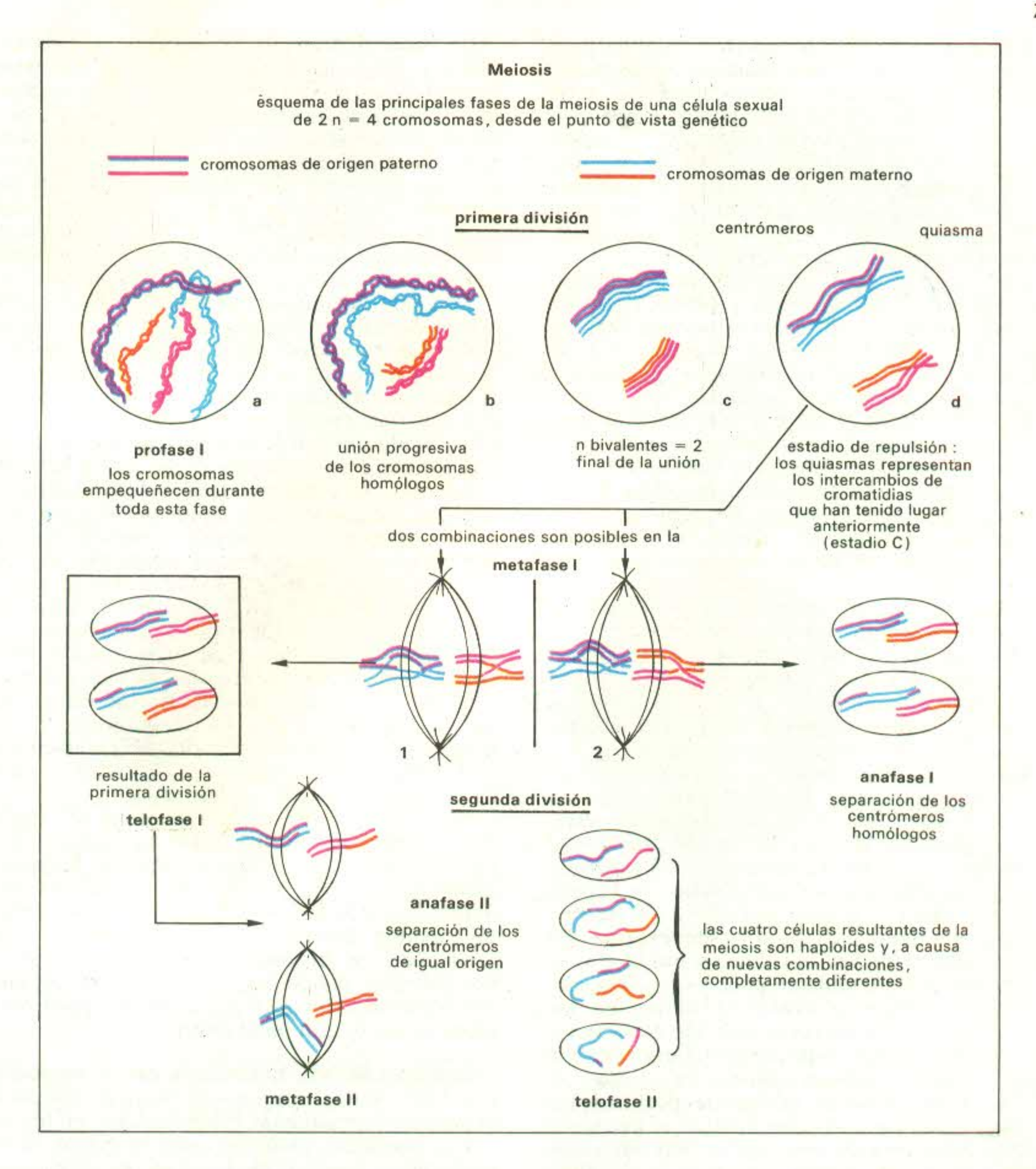
Meiosis y maduración. — Antes de que los óvulos salgan al receptáculo y antes también de que a él lleguen los espermatocitos, se suceden unas operaciones que transforman las primitivas células sexuales inmaduras en *gametos*, células que, al unirse con otras del sexo opuesto, hacen posible la fecundación.

La *meiosis* consiste esencialmente en dos divisiones nucleares ininterrumpidas que afectan por separado a los gametos masculinos o femeninos. La *maduración* es la serie de procesos transformadores que sufren las *espermatogonias* y *oogonias* para llegar a ser espermatocitos y ovocitos (óvulos).

Ovogénesis y espermatogénesis. — Las gónadas femeninas y masculinas (ovarios y testículos), cuando llegan al estado de madurez, inician una actividad encaminada a la producción de gametos que, en un momento determinado, se unirán para formar un *cigoto* o célula huevo. Esas actividades se llaman, respectivamente, *ovogénesis* y *espermatogénesis*.

En la ovogénesis, la producción de células sexuales femeninas es menor que la de las masculinas en la espermatogénesis. Este proceso pasa por varias fases en las que las células germinales de la gónada, llamadas *oogonias*, se multiplican y transforman en ovocitos de primer orden; luego tiene lugar una división meiótica, en la cual se producen un ovocito de segundo orden y otra célula muy pequeña, o primer cuerpo polar, que degenera; en la siguiente meiosis, el ovocito de segundo orden se divide en un óvulo, con una dotación cromosómica haploide (n), y un segundo cuerpo polar, que también degenera.

En la espermatogénesis, las numerosas mitosis de las *espermatogonias* testiculares hace primeramente aumentar el número de éstas y posteriormente el tamaño. Las que resultan del crecimiento sufren una primera fase de reducción por la que la carga cromosómica del núcleo, que era diploide ($2n$), se convierte en haploide (n). En una segunda fase de normalización se producen profundos cambios morfológicos que dan lugar a la formación de las células llamadas espermatozoides, dotadas de cabeza, cuello y cola.



Ciclo ovárico. — Llámase *ciclo ovárico* a la serie de fases que atraviesan los óvulos hasta quedar en condiciones de realizar una *singamia* (unión con un espermatocito). En los vertebrados suelen darse unos períodos de *celo* durante los que tiene lugar la preparación de los ovocitos para el fin reproductor. En los antropoides superiores, sobre todo en la mujer, existen los ciclos ováricos, que se inician en la edad puberal (entre los 10 y los 18 años, según razas y climas) y consisten en la liberación de un óvulo (ovulación) desde el interior de un folículo ovárico. Sigue una fase postovulatoria de 12 a 16 días, en la que puede ocurrir que el óvulo no sea fecundado, en cuyo caso habrá una *menstruación* o hemorragia uterina y volverá a iniciarse el ciclo ovárico, o que lo sea (singamia), comenzando entonces el *ciclo reproductor*, en el que el huevo o cigoto se desarrolla, desciende a través del oviducto al útero para nidificar allí e implantarse en la mucosa uterina. En este último caso, empieza al mismo tiempo a funcionar un complejo mecanismo hormonal que regula el ciclo reproductor y suspende cualquier menstruación y la aparición de ulteriores ovulaciones. Comienza de este modo el período de *gestación*, de duración muy variable según la especie animal (unos 280 días en la mujer, equivalentes a diez meses lunares o a nueve meses naturales).

El fin del ciclo ovárico supone para la hembra la pérdida de la fecundidad y va acompañado de una importante serie de alteraciones morfológicas y vasomotoras. En los animales, el cese del *ciclo de celo* se presenta con variadísimas modificaciones de tiempo, según la especie y otras circunstancias. En la mujer también influyen factores como la raza y el clima.

Pubertad y climaterio. — La *pubertad* es el período en que aparece la madurez sexual dando a los animales la capacidad de reproducción y provocando una serie de cambios internos (desarrollo de glándulas y aparatos sexuales, nuevas secreciones hormonales, etc.) y externos (transformaciones corporales, cambio de la voz, nacimiento de la barba y vello, etc.). Estas alteraciones acentúan el dimorfismo sexual, permitiendo una clara distinción entre los individuos masculinos y femeninos, incluso desde el punto de vista psíquico.

El *climaterio* consiste en la regresión de los principales fenómenos sexuales femeninos y marca el fin de la etapa fecunda. Puede interpretarse como una defensa de la naturaleza con objeto de evitar la producción de nuevos individuos, que serían engendrados, gestados y expulsados (parto) en situaciones biológicas harto precarias para la supervivencia y perjudiciales para el conjunto de la especie. Existe también en los seres de sexo masculino, pero es menos acentuado y más tardío.

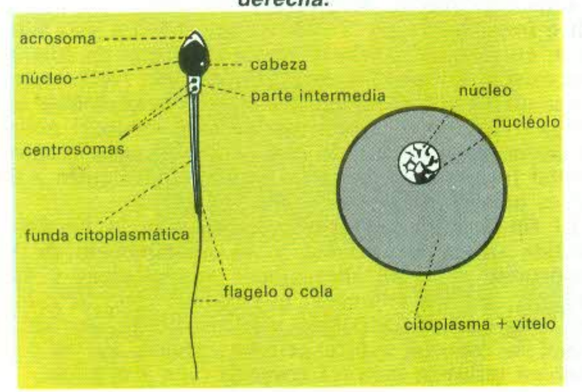
La pubertad supone una gran intensificación de las acciones hormonales, con aparición de algunas secreciones propias de esa etapa; en cambio, el climaterio lleva consigo una atenuación de la producción hormonal.

Los gametos. — La diferencia y el poliformismo entre los gametos femeninos (♀) y los masculinos (♂) es tan grande que conviene estudiar ambos por separado.

Los gametos masculinos se distinguen ante todo por su movilidad. Un *espermatocito* consta de distintas partes. La *cabeza* contiene un denso núcleo con cromosomas, tras éste hay un *centriolo* y, antes de la cabeza, existe en algunos espermatocitos el *acrosoma*, que tiene forma de media luna. Siguen luego el *cuello*, rico en gránulos cromosómicos que rodean una estructura espiral, y el *flagelo*, apéndice retro-impulsor que proyecta al espermatocito hacia el óvulo. El tamaño de los espermatocitos es muy pequeño (en los vertebrados la cabeza oscila entre 2 y 4 micras y la cola entre 50 y 150 micras) y nunca sobrepasa a los óvulos de la misma especie. La forma, muy variada, suele ser filiforme, como la que se acaba de describir, aunque también puede ser ameboide.

Los gametos femeninos u *óvulos* se alojan en los folículos del ovario y son mayores que los espermatocitos, pero mucho menos numerosos. Generalmente tienen forma ovalada, con un núcleo en el que se encuentran los cromosomas de la especie destinados a conjugarse con los del gameto masculino en el momento de la singamia. Alrededor de este núcleo hay un vitelo nutritivo, más o menos abundante, que permite clasificar los óvulos en *centrolecitos*, con vitelo central y propios de los insectos, *alecitos*, de vitelo nutritivo muy escaso y característicos de los mamíferos, y *telolecitos*, muy ricos en vitelo y existentes principalmente en las aves.

Gametos : espermatocito, a la izquierda, y ovocito, a la derecha.



La fecundación. — Se entiende por *fecundación* la unión o singamia de un óvulo y de un espermatocito maduros con objeto de crear el cigoto o célula huevo. Este fenómeno consiste esencialmente en la fusión de los dos núcleos (el ♀ y el ♂) y hace necesaria, por lo tanto, la penetración de un espermatocito y el contacto de éste con el ovocito. Cuando esto se logra, los dos núcleos haploides se fusionan en un único núcleo diploide. La fecundación es específica, al serlo también el número cromosómico de cada gameto, y tras ella tienen lugar la segmentación y el desarrollo del huevo.

Alrededor del óvulo se encuentra una sustancia de origen hormonal, llamada *fertilicina*, que, al reaccionar con el espermatozoo, realiza la fecundación. Ésta se produce según cuatro variedades fundamentales : *externa*, si el agua es el vehículo de propagación óvulo-espermático, *interna*, cuando los espermatozoos se encaminan al receptáculo seminal femenino, *cruzada*, la más corriente, y *autofecundación*, propia de los seres hermafroditas.

Además de estas variedades fecundativas naturales, hay que mencionar la *fecundación artificial*, consistente en la obtención de líquido seminal masculino para depositarlo, en el momento adecuado, en los órganos receptores femeninos. Constituye una técnica especializada, muy difundida en Veterinaria, gracias a la cual se logran mejores cualidades en la descendencia. Se conoce también con el nombre de *inseminación artificial*. Su aplicación a la especie humana es también posible, pero esta práctica plantea problemas de orden psicológico, jurídico, social y moral. No obstante, puede hallarse un motivo de justificación cuando la fecundación natural no es posible entre cónyuges por dificultades en la copulación o por la esterilidad del marido.

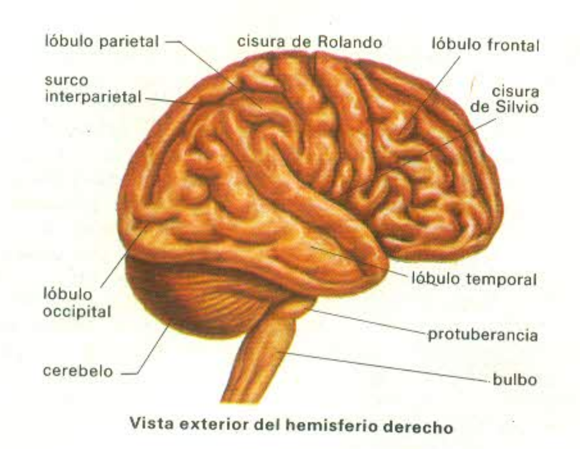
En 1978 se consiguió por primera vez iniciar la vida de un ser humano fuera del ambiente natural de la madre. Los médicos ingleses Patrick Steptoe y Robert Edwards tomaron por vía abdominal un óvulo de la mujer, lograron la fecundación « in vitro » del mismo por el esperma del marido e implantaron el óvulo así fecundado en el útero materno donde se desarrolló normalmente dando lugar al nacimiento de una niña. Al año siguiente, los dos ginecólogos aplicaron el mismo procedimiento con igual éxito.

Función de las hormonas en la reproducción. — Las hormonas ejercen una influencia indudable en todo el proceso reproductor, especialmente en los mamíferos.

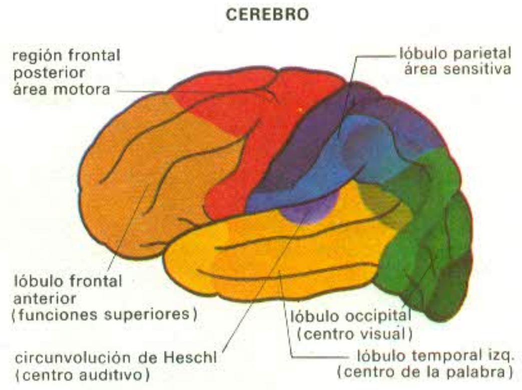
Las hormonas *prehipofisarias* acentúan el mecanismo endocrino sexual. Una de ellas, en primer lugar, favorece el crecimiento y otra, a continuación, estimula el folículo de De Graaf. Más tarde, durante el celo, se produce la secreción de *estradiol* folicular y la actividad hormonal prosigue con la *luteína*, que transforma el folículo roto en *cuerpo lúteo*. La *progesterona* facilita luego la nidificación cigótica y, si continúa la gestación, el cuerpo lúteo permanece gracias a las hormonas *gestágenas*, inhibidoras de otros folículos ováricos, suprimiéndose de esta manera el ciclo.

En los animales placentarios, la placenta segrega progesterona y estradiol hasta el parto o conclusión del embarazo. En este momento, otras dos hormonas, la *oxitocina* y la *relaxina*, tienen la propiedad de reblandecer los ligamentos pelvianos permitiendo de este modo mayores dilataciones y facilitando así la expulsión fetal.

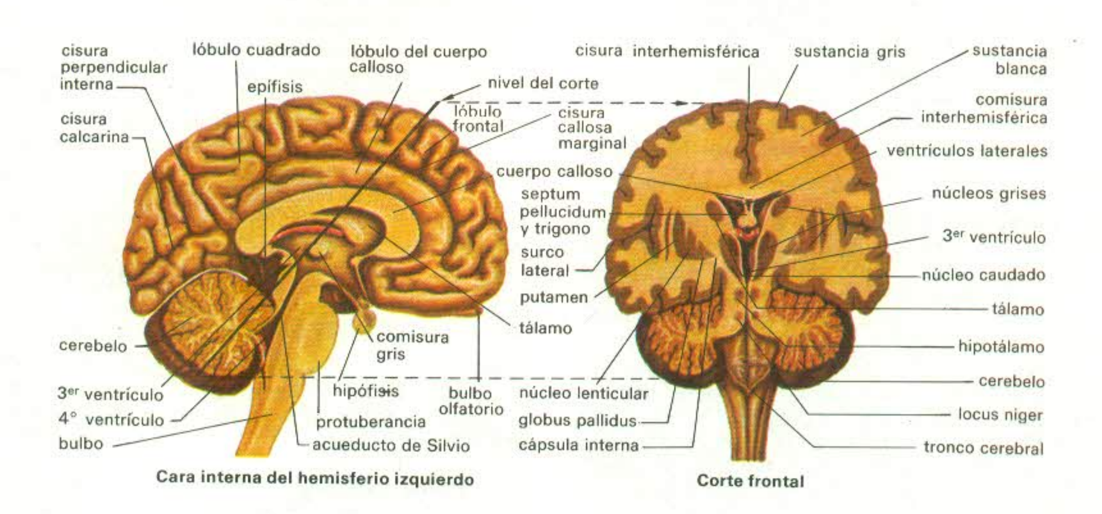
La hormona *lactogénica* interviene tan pronto como finaliza el parto estimulando los conductos galactógenos mamarios para facilitar la producción de leche en la madre. Simultáneamente se va restableciendo la influencia de las hormonas anteriores a la gestación para llegar de este modo al comienzo de un nuevo ciclo ovárico o de un nuevo celo en las hembras que carecen de aquél.



Vista exterior del hemisferio derecho



Proyección de las áreas motora, sensitiva y sensorial



Cara interna del hemisferio izquierdo

Corte frontal

Correlación neuroendocrina y sensibilidad

En este apartado se estudian el sistema nervioso, los diferentes receptores sensoriales, las funciones endocrinas y la correlación existente entre el sistema nervioso y la función hormonal.

EL SISTEMA NERVIOSO

Como se describió en el capítulo dedicado a la Histología la estructura de los componentes celulares de los nervios, se van a tratar ahora los aspectos funcionales, puramente fisiológicos, del sistema nervioso.

Generalidades. — La excitabilidad y la respuesta adecuada son propias del sistema nervioso. Éste es un *conjunto de receptores y efectores*, entendiéndose por receptor *(interno* o *externo)* la célula sensible a ciertos estímulos que, al llegar a las estructuras terminales *(efectores)*, produce las respuestas adecuadas *(reacciones)*.

Una vez admitidos estos conceptos, puede hablarse de *neuronas aferentes* o *sensitivas*, conductoras de impulsos desde los receptores hasta el sistema nervioso central; de *neuronas eferentes*, que van de dicho centro a los diversos efectores; y de *neuronas de asociación*, en animales dotados de cerebro y médula espinal, que intercomunican neuronas sensitivas y motoras. Existen también *ganglios*, constituidos por numerosas neuronas, que reciben el nombre de *centros* cuando están localizados en el cerebro.

Llegada de los estímulos. — Las células sensoriales, estimuladas por causas térmicas, mecánicas, químicas o lumínicas, lo cual implica a veces una especialización perceptora típica para cada estímulo, son, desde el punto de vista funcional, un potencial en reposo o, dicho de otro modo, una diferencia de potencial eléctrico a cada lado de la envoltura membranosa con una carga negativa localizada internamente. El estímulo más simple de esa membrana cambia instantáneamente el signo del potencial en reposo y hace llegar una especie de onda procedente de ella al axón celular. Como los axones neurales constituyen *fibras nerviosas*, especialmente en los vertebrados, las ondas sensoriales circulan por aquéllas hasta que los estímulos alcancen los centros a los que van destinados.

En los animales invertebrados, los estímulos se transmiten a través de redes.

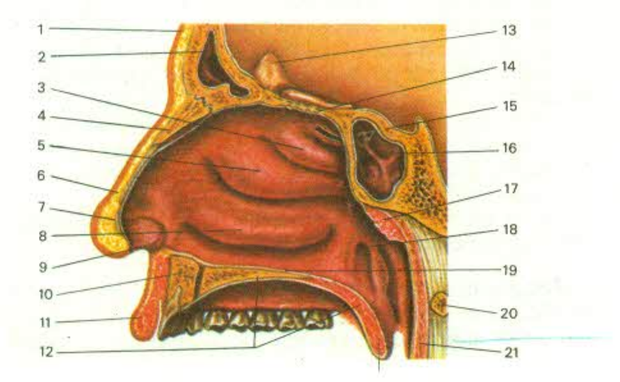
Mecanismo funcional. — El *mecanismo funcional* estriba en el aprovechamiento de la distinta permeabilidad de la membrana para que, mediante un consumo de

energía gastado por el A. T. P., penetren iones de potasio y salgan iones de sodio. Al producirse ambas fases (penetración y salida) a través de la membrana, se comprende perfectamente por qué el exterior es tan rico en sodio y el interior abundante en potasio. Se ve por consiguiente que la naturaleza de la corriente nerviosa es activa y caracterizada por una despolarización en el punto donde actúa el estímulo. Hay luego un triple proceso consistente en la inversión del potencial eléctrico, la creación de una onda despolarizada y el cambio de la permeabilidad de la membrana, hasta que se restablezca el equilibrio inicial.

Sinapsis. — El paso de la corriente nerviosa entre dos neuronas, a pesar de no existir continuidad física entre las mismas, se denomina *sinapsis*, fenómeno que explica la estimulación nerviosa de una célula por otra. Éste se forma por el contacto del extremo terminal de una rama axónica neuronal con el cuerpo o la dendrita de otra neurona. Cada axón, excepto si es una fibra motora, suele tener varias sinapsis y la sustancia intermedia sináptica es generalmente acetilcolina, histamina o adrenalina. Las relaciones anatomofisiológicas entre los órganos efectores y las terminaciones nerviosas tienen lugar a través de un proceso químico intermediario, funcionalmente semejante a la sinapsis.

Sistemas nerviosos ganglionar y central. — Los sistemas nerviosos *ganglionares* son propios de los invertebrados. La comunicación entre los ganglios se efectúa a través de fibras nerviosas y, según la especie animal considerada, la distribución de cada sistema ganglionar es muy variada, aunque predominan las estructuras simétricas. La localización y los volúmenes son también muy diversos; sin embargo, puede decirse que, en casi todos los animales, es continua la presencia de ganglios cerebroides, que se amplían a veces mediante cadenas periesofágicas. Es frecuente también la continuidad ganglionar a lo largo del cuerpo, que forma una especie de escala de cuerda en la que los ganglios están situados en los cruces y se perciben como un engrosamiento.

Los vertebrados se distinguen, en cambio, por tener, además de un peculiar sistema ganglionar, sistemas nerviosos *centrales* de gran complejidad que se caracterizan por ser sedes de los centros nerviosos, estar compuestos de fibras nerviosas y neuronas íntegras y contar con gran riqueza de conexiones sinápticas. Las fibras pueden ser de dos tipos : las de color blanco, de localización interior y cubiertas de *mielina*, y las grises, generalmente situadas en el exterior, en las que predominan los cuerpos neuronales. De los centros nerviosos salen nervios motores, sensoriales y mixtos.



Nariz : 1. Hueso frontal; 2. Seno frontal; 3. Cornete superior; 4. Hueso nasal; 5. Cornete medio; 6. Cartílago del tabique; 7. Cartílago alar; 8. Cornete inferior; 9. Aleta; 10. Maxilar superior; 11. Labio superior; 12. Bóveda y velo del paladar; 13. Apófisis « crista galli » del etmoides; 14. Lámina cribosa del etmoides; 15. Esfenoides; 16. Seno esfenoidal con comunicación nasal (flecha); 17. Amígdala faríngea; 18. Trompa de Eustaquio (orificio faríngeo); 19. Corte de la mucosa pituitaria; 20. Atlas; 21. Pared posterior de la faringe.

Sistemas nerviosos autónomo y central. — El sistema nervioso de más perfección se halla en los vertebrados mamíferos, en los cuales se pueden considerar los sistemas *autónomo* y *central*. El primero tiene como función la inervación motora de la musculatura lisa y de las glándulas y se subdivide en *simpático* u *ortosimpático* y *parasimpático*. Las fibras preganglionares del simpático parten de la médula espinal, por las regiones lumbar y torácica, para llegar a las cadenas ganglio-simpáticas situadas a cada lado y en la cara anterior de la columna vertebral, donde se encuentran con células nerviosas posganglionares. Las fibras preganglionares parasimpáticas salen del sistema nervioso central por el vago y por la región sacra (extremo posterior de la médula espinal). El simpático y el parasimpático actúan de un modo antagónico y coordinan sus funciones en la médula espinal, en el bulbo y en el hipotálamo.

La función predominante del sistema central, constituido fundamentalmente por el cerebro y la médula espinal, que están respectivamente en el cráneo y la columna vertebral, es la de coordinar las actividades del animal con las de otros seres y con el medio ambiente. Para ello recibe todos los impulsos informativos llegados de órganos, sentidos y glándulas a través de múltiples vías nerviosas, que sufren un proceso de tratamiento tras el cual se produce la respuesta. El sistema central tiene también una acción propia y acumula experiencias pasadas que pueden ser útiles en cualquier circunstancia presente. De él depende el sistema periférico.

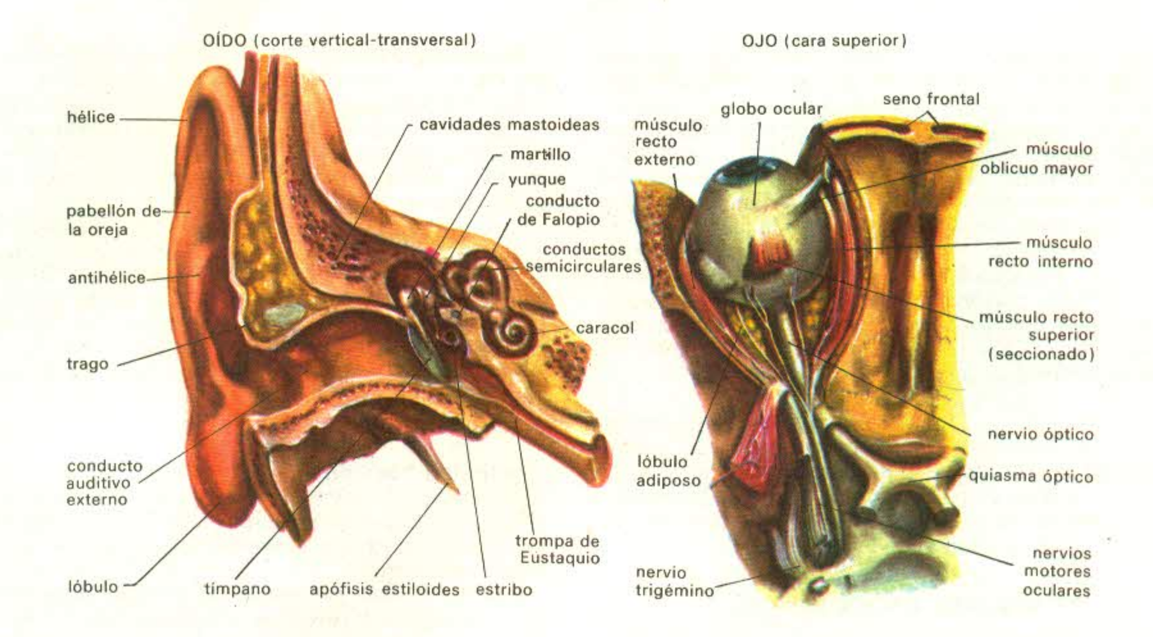
RECEPTORES SENSORIALES

La *recepción sensorial* corre a cargo de los órganos de los sentidos, que se localizan en receptores adecuados y se distribuyen de varias maneras según el género de vida que lleve el animal.

Órganos táctiles. — Incluso los animales más sencillos tienen *órganos táctiles*, que pueden ser corpúsculos o terminaciones nerviosas libres capaces de captar el calor, el frío, la presión y la dureza. Estos órganos están particularmente especializados en los vertebrados superiores, sobre todo en el hombre, en el que existen coordinadas una sensibilidad cutánea y otra profunda. Los estímulos captados por la piel se transmiten a los centros nerviosos por medio de nervios periféricos. Son importantes los *corpúsculos de Paccini* (presión) y los de *Meissner* (contacto).

Al igual que en los otros órganos sensoriales, por encima del umbral óptimo se encuentra la zona del dolor y, por debajo, la zona de insensibilidad, donde la percepción es imposible.

Órganos olfatogustativos. — Los estímulos olorosos, constituidos por cuerpos volátiles y por sustancias gaseosas disueltas en el aire, se perciben gracias a la *pituitaria* amarilla, situada en la parte superior de la membrana mucosa nasal, cuyas neuronas dejan de ejercer su cometido si no están ligeramente humedecidas en lugar de encharcadas o resecas. Este sentido es muy



agudo en los animales salvajes y aun en hombres que viven siempre en contacto con la naturaleza.

Debido a la mucosa nasal, que actúa coordinadamente con los *estímulos gustativos*, se puede sentir mayor o menor apetencia por los alimentos. El sentido del gusto se localiza en la lengua, concretamente en las *papilas gustatorias*. Estas papilas, que peces y anfibios tienen en la superficie corporal, hacen posible la identificación de sabores (dulce, ácido, amargo y salado), así como las combinaciones entre ellos. Influyen notablemente en la secreción salivar, según que los mencionados sabores sean más o menos placenteros para el individuo.

En el centro y en la cara inferior de la lengua no hay papilas o botones gustativos. Lo amargo se capta en la base de la lengua, lo dulce y lo salado en la punta y lo que es ácido en los bordes. Algunas papilas son filiformes, otras tienen aspecto de hongo, cáliz, etc.

Órgano de la vista. — Hay diferentes clases de *ojos*, órganos especializados en la captación de la luz. Los *ocelos* son ojos simples y elementales de gran parte de los invertebrados, y los *omatidios* de insectos y crustáceos son ojos compuestos formados por cierto número de elementos fotosensibles separados, que forman imágenes por aposición en los insectos diurnos y por superposición en los nocturnos; existen también otros muchos grados intermedios de ojos hasta llegar a los de los cefalópodos y vertebrados, muy similares entre sí desde el punto de vista morfofuncional y que son los de mayor perfección.

Los de los vertebrados se llaman *de cámara*, al estar provistos de una lente que proyecta la luz emitida por los objetos sobre la retina, donde se encuentran los elementos receptores *(bastones* y *conos)*. Ocupan la mitad anterior de la cavidad orbitaria y tienen forma esférica, ligeramente ovalada. Las paredes que poseen están constituidas por tres capas concéntricas de diferente naturaleza. La capa más periférica es la *esclerótica*, dura y rígida, que, en la parte anterior, se transforma en una membrana transparente, denominada *córnea*, cuyo radio menor hace que parezca abombada. La capa intermedia, o *úvea*, tiene a su vez tres partes diferenciadas : la *coroides*, que nutre a la retina, el *cuerpo ciliar* y el *iris*. Éste, de naturaleza elástica y contráctil, tiene un orificio central o *pupila*, verdadero diafragma del sistema óptico. La membrana más interna, de naturaleza nerviosa, es la *retina*, que capta las sensasiones lumínicas y las transmite a los centros cerebrales a través del *nervio óptico*. La parte que posee mayor sensibilidad en la superficie retiniana es la *mancha lútea*.

La orientación que se da a los globos oculares para que la imagen de un objeto caiga sobre ambas retinas se llama visión binocular. Los vertebrados disfrutan de una visión estereoscópica o en profundidad, gracias a la conjunción de los dos ojos. Variando la curvatura del cristalino se modifica la distancia focal del ojo, operación que se conoce con el nombre de *acomodación*.

El proceso de la visión, una vez estimulados los conos y bastones retinianos, es de tipo neuroquímico. Se elaboran unas sustancias estimuladoras del nervio óptico que, de este modo, recoge las impresiones correspondientes a cada longitud de onda (color). Para la admisión de mayor o menor luz, el ojo se rige por el iris, el cual, de una manera refleja, presenta mayor o menor abertura.

Órgano estatoacústico. — El *oído* es el órgano encargado de la percepción de las sensaciones acústicas, pero tiene al mismo tiempo una importante función relativa al sentido del equilibrio.

El oído interno, en la mayoría de los vertebrados, encierra un líquido seroso llamado *endolinfa* y tiene tres conductos semicirculares y huecos. En el interior del mismo se encuentran unas concreciones calizas, los *otolitos*, que ejercen distintas presiones, según la inclinación del individuo, sobre unas células sensitivas ciliadas. Cada presión determina estímulos que se convertirán, por vía refleja, en acciones musculares y movimientos encaminados a conservar el equilibrio. Estas acciones son particularmente rápidas en algunos animales, como los felinos, siempre conscientes de su posición con respecto a la gravedad, la aceleración o el sonido.

Algunos invertebrados, como los insectos, poseen receptores acústicos idóneos y otros perciben el sonido por la piel, como si se tratara de ondas de presión. Los vertebrados son los que tienen más desarrollado este sentido. En ellos hay una prolongación membranosa exterior *(pabellón auditivo)*, que recoge adecuadamente las ondas sonoras, y un orificio, seguido de un conducto auditivo externo que termina en una membrana timpá-

nica. Todo este complejo se llama *oído externo*, del que carecen muchos vertebrados. No así del *oído medio*, que empieza en el *tímpano*, membrana elástica y tensa capaz de captar las ondas vibratorias y de hacer mover una *cadena de huesecillos*, que, a su vez, transmiten esas vibraciones al líquido de la *cóclea espiral*, situada en el *oído interno*. En este último tramo están las células nerviosas *auditivas*, especializadas en la captación de diferentes frecuencias sonoras que estimulan el *nervio auditivo*. Las frecuencias sonoras son muy variadas y algunos animales pueden percibir las más bajas (menos de 30 períodos por segundo). La especie humana está capacitada para captar frecuencias que oscilan entre 30 y 20 000 períodos por segundo.

Propioceptores. — Los *propioceptores* son receptores situados intraorgánicamente y capaces de captar las sensibilidades articular, tendinosa, muscular y estática. Gracias a ellos es posible sentir un dolor profundo, saber la presión sanguínea y que el individuo pueda coordinar las extremidades.

FUNCIONES ENDOCRINAS

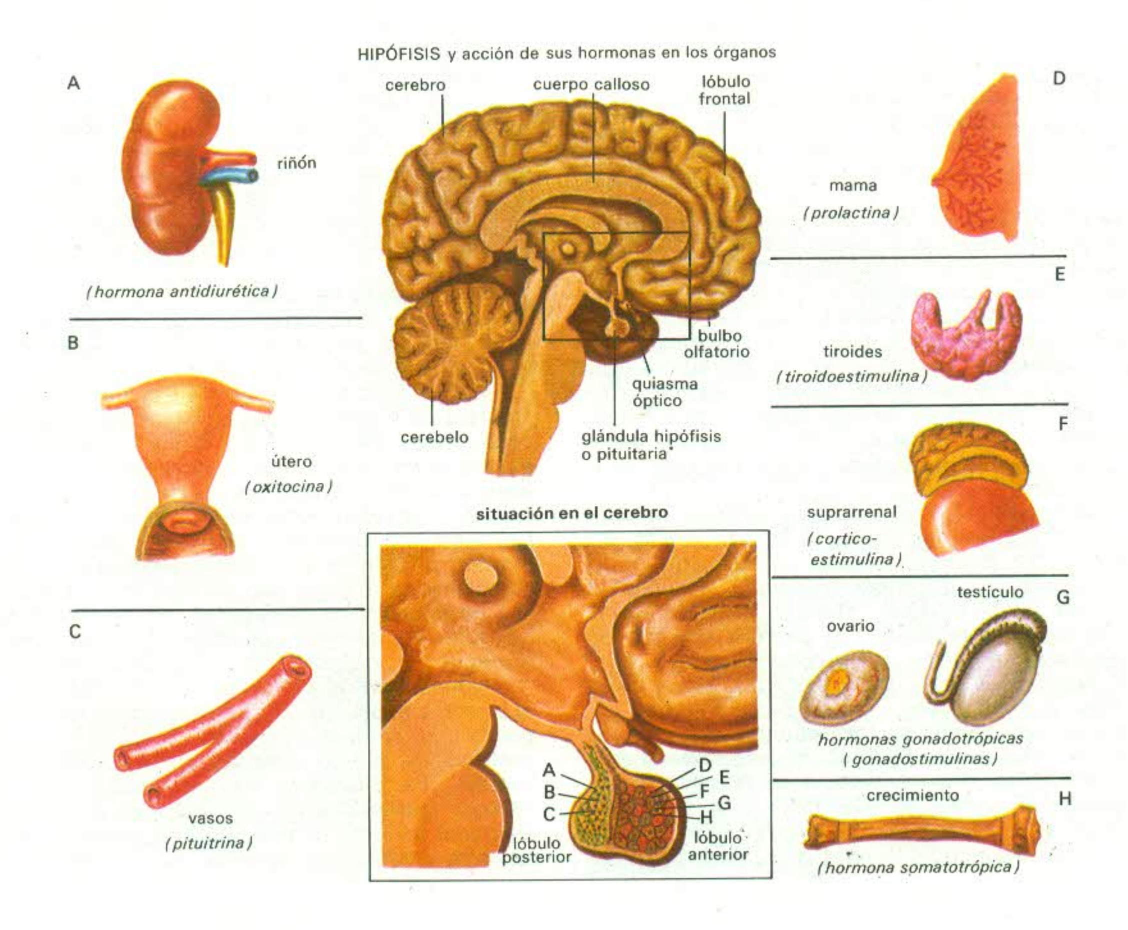
Las *funciones endocrinas* corren a cargo de las glándulas de este mismo nombre, descritas ya desde el punto de vista histológico. Ahora se va a estudiar su actividad funcional que consiste en secretar hormonas, sustancias de enorme importancia quimiofisiológica.

Modo de actuar. — Las hormonas, incluidas por la acción que ejercen dentro de los *biocatalizadores*, son extraordinariamente pequeñas, como una millonésima de gramo, y, una vez cumplida la misión que tienen asignada, pueden ser destruidas por el organismo, ya que, de acumularse, acabarían creando cuadros patógenos graves.

Las hormonas se dirigen a la zona orgánica que las necesita y allí, a nivel celular, realizan la acción que les es propia. Esas actividades pueden ser funcionales, como, por ejemplo, la combustión de la glucosa o el retraso en el trabajo de algunos órganos; formadoras, con influencias en el desarrollo físico, mental y orgánico-genital del individuo; y dinámicas, al estimular la producción de una sustancia, en la célula o el tejido, destinada a mejorar la realización de alguna operación.

Química hormonal. — Se conoce muy bien la estructura química de las hormonas de los vertebrados, sobre todo la del hombre. Basándose en ésta, avanza cada día más la investigación endocrinológica en los demás animales superiores.

Las hormonas presentan gran heterogeneidad; unas son polipéptidos (insulina e hipofisarias), otras tienen marcado carácter aminoácido (tiroxina y adrenalina) e incluso las hay que son esteroides (glándulas sexuales). El conocimiento de las hormonas permite obtener, por medio de la síntesis industrial, muchas de ellas para así corregir con fines terapéuticos efectos hipofuncionales.



Acción hormonal en los invertebrados. — Se tiene menos información sobre la acción hormonal en los invertebrados. No obstante se sabe que, en estos seres, las metamorfosis, crecimientos, acciones sexuales y maduración orgánica tienen lugar bajo influencia hormonal. Un esteroide, llamado *ecdisona*, incide notablemente en la muda de los insectos. También se conoce la existencia de una hormona denominada *adenotropa*.

Las hormonas en los vertebrados superiores. — Lo que se afirma del sistema hormonal humano es también aplicable a los vertebrados superiores, dadas la analogía de composición, la identidad de los órganos que segregan las hormonas y la igualdad funcional. Solamente habría que hacer algunas salvedades en lo que se refiere a las diferencias de dosis y producción.

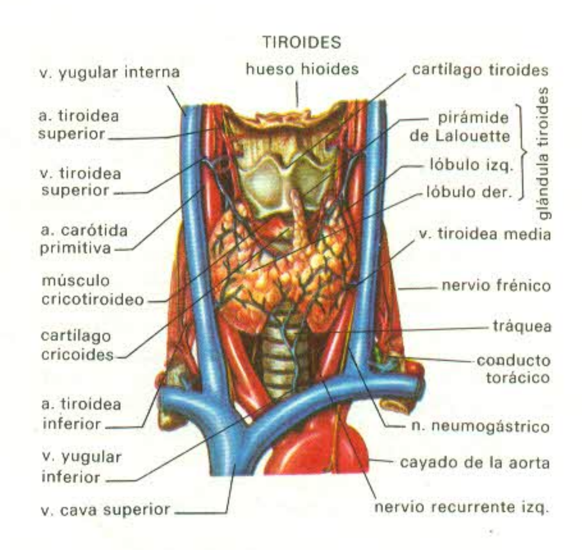
Hormonas hipofisarias. — Las *hormonas hipofisarias* son las segregadas por la hipófisis, pequeña glándula de un gramo aproximado de peso alojada y protegida en el hueso intracraneal esfenoides. A pesar de su ínfimo tamaño, la hipófisis tiene una gràn importancia endocrina. Morfológicamente se divide en un lóbulo anterior y otro posterior. El primero, llamado *adenohipófisis*, segrega *somatotropina*, estimulante del crecimiento (el enanismo y el gigantismo se deben, respectivamente, a hipo o hiperfunción de esta hormona), hormonas *metabólicas* estimulantes de la secreción de otras (corticotropina y tirotropina) y *gonadotropas*, que actúan sobre todo en la vida sexual (foliculina, luteotropina y luteína).

El lóbulo posterior o *neurohipófisis* segrega la *vasopresina*, que acentúa y aumenta la presión sanguínea, y la *oxitocina*, polipéptido formado por ocho ácidos, que sirve para desencadenar las contracciones uterinas durante el parto, luchar contra las hemorragias del posparto y estimular la producción láctea mamaria.

Hormonas tiroideas y paratiroideas. — Las *hormonas tiroideas* son segregadas por la tiroides, glándula rojo-amarillenta de la parte súpero-anterior traqueal, dividida también en dos lóbulos unidos por una comunicación glandular. Esta glándula produce la *tiroxina*, que contiene un 60 por ciento de yodo sacado de la sangre, y ejerce una acción metabolicorreguladora y morfogénica, lo que significa que tiene, por consiguiente, un efecto de estímulo en los metabolismos celular, basal o hídrico y facilita el crecimiento y desarrollo de los tejidos óseo y nervioso. Si hay hiperfunción se produce un aumento de la zona tiroidea (bocio), excitando la temperatura y el metabolismo individuales, y la hipofunción es causa de enanismo mental y físico (cretinismo e idiotez), así como de edemas hídricos, por disfunción reguladora del agua en los tejidos.

Encima de la tiroides se encuentran cuatro pequeñas glándulas en forma de habichuela, que segregan la *parathormona* o *paratirina (hormona paratiroidea)*, de acción fijadora del calcio y del fósforo en el esqueleto. La deficiente secreción o hipofunción de la misma es responsable de la hipocalcemia y descalcificación ósea y produce también una hiperexcitabilidad músculonerviosa.

Hormonas pancreáticas. — Las *hormonas pancreáticas* son segregadas por el páncreas, glándula a la vez exocrina y endocrina en cuyas células, muy vascularizadas, se produce la *insulina*, que regula el metabolismo glúcido. Su hipofunción origina la diabetes sacarina o hiperglucemia (exceso de azúcar en la sangre). Antagónico de la insulina es el *glucagón*, que actúa como hiperglucemiante. En la regulación de la glucemia interviene también la *adrenalina*, hormona suprarrenal que se estudiará más adelante.



Puede darse el caso también de hiperfunción insulínica, la cual determina un excesivo consumo de azúcar, capaz de llevar al individuo al coma diabético y a la muerte si no se le inyecta glucosa. Las hormonas mencionadas anteriormente son endohormonas, pero existen también exohormonas, que se vierten, como el jugo pancreático, en el intestino delgado.

Hormonas suprarrenales. — En la parte superior de los riñones se encuentran unas cápsulas, a modo de caperuzas, que segregan las *hormonas suprarrenales*. Cada una de ellas tiene distinta estructura morfológica *(interior* o *medular* y *exterior* o *cortical)* y elabora un determinado tipo de hormona.

La estructura interior o medular es de aspecto pardo rojizo, produce adrenalina, hormona que tiene efectos hiperglucemiante, oxidante graso y neuroexcitador del sistema simpático y causa la palidez o el rubor facial, por lo que se la conoce con el nombre de « hormona de la emoción ».

La estructura exterior o cortical es de color amarillento y tiene una variada producción hormonal (unas 30 sustancias), destacándose la *aldosterona*, la *cortisona* y la *androsterona*, que, de manera genérica, se denominan *corticosteroides*, aludiendo así a la composición química. La aldosterona regula el metabolismo y el equilibrio hídrico; la cortisona es un excelente regulador térmico y está dotada de propiedades antiinflamatorias; y la androsterona proporciona energía y fuerza muscular, además de tener una influencia virilizante desde el punto de vista sexual.

Hormonas aglandulares. — Hay hormonas, llamadas *aglandulares*, que no son segregadas en glándulas específicas, sino en el propio órgano o tejido donde ejercen su acción. Entre éstas se encuentran la *pancreocimina*, la *secretina*, ambas en la mucosa duodenal, la *gastrina*, estimulante de la secreción del ácido clorhídrico en el estómago, la *enterogastrona*, antagónica de ésta y que evita los excesos secretores de dicho ácido impidiendo la formación de úlceras gástricas, las *neurohormonas* y las *cardiohormonas*.

Hormonas sexuales. — FEMENINAS. — En los folículos ováricos se originan las *hormonas estrógenas*, como la *foliculina*, que actúa en los caracteres sexuales secundarios (voz, formas corporales, etc.) y en el útero.

La *progesterona*, producida en el ovario tras el desprendimiento del óvulo, adapta el organismo para la gestación y la lactancia. Ejerce una acción activadora de todo el metabolismo y su hipofunción es causa de típicas disfunciones neurovegetativas (alteraciones psíquicas) de corrección bastante difícil. La menstruación implica una correlación hormonal compleja.

MASCULINAS. — Los testículos son las glándulas que segregan las *hormonas masculinas*, llamadas *andrógenas*. La *testosterona* está caracterizada por la acción que cumple, es decir, el desarrollo de los órganos genitales, próstata, vesículas seminales, caracteres sexuales secundarios (barba, vello, tono de voz) y el psiquismo. En cooperación con las hormonas tiroideas, incide notablemente en el metabolismo acentuándolo. Cuando se produce hipofunción, todas las actividades antes mencionadas se atenúan y al mismo tiempo se debilitan los componentes del psiquismo varonil.

CORRELACIÓN NEUROHORMONAL

Los distintos aparatos y sistemas orgánicos realizan funciones y actos diferentes no de manera autónoma, sino dentro de un sistema regulador que garantiza la unidad funcional del individuo. En lo que a las glándulas endocrinas se refiere, dicho sistema consta de una serie de fibras, vinculadas al sistema nervioso, que establece íntimas relaciones entre glándulas y tejidos y entre tejidos y centros nerviosos.

La acción hormonal es más lenta que la del sistema nervioso, porque la sangre, vehículo de las hormonas por excelencia, circula mucho más despacio que el impulso nervioso. La elaboración de hormonas parte unas veces del sistema nervioso y otras de la influencia secretora de una o varias hormonas. Por consiguiente, es necesario admitir que en ambos casos hay una coordinación neurohormonal que da como resultado la acción sinérgica, paralela y complementaria, de los sistemas endocrino y nervioso.

Todo esto pone de manifiesto la existencia de un *centro integrador*, posibilitador de esta correlación, que se cree reside, difuso, pero activo, en la hipófisis y más concretamente en el lóbulo anterior de la misma. Además de las hormonas ya mencionadas, este lóbulo segrega un complejo hormonal, las *estimulinas*, que actúan sobre las restantes glándulas, estimulándolas para que tengan un funcionamiento y una producción propios.

De este modo se inicia un complejísimo proceso cuyas consecuencias llegan a incidir, con múltiples variantes, en el sistema nervioso y, desde éste, en otras glándulas, concluyendo así el ciclo y las interacciones neurohormonales.

Fisiología de los sistemas excretores

La *excreción* no es otra cosa que la expulsión del cuerpo de los productos metabólicos, previo almacenamiento de ellos en forma insoluble. Los órganos encargados de esta operación son los *nefridios* en muchos invertebrados, los *tubos de Malpighi* en los insectos y los *riñones* en los vertebrados. La excreción procede principalmente de los restos del metabolismo proteico, pero existen también, en estado gaseoso o sólido, otros muchos materiales de desecho importantes.

La vía normal de salida para los residuos gaseosos es el aparato respiratorio, por donde se expulsa el anhídrido carbónico. Los sólidos solubles se eliminan por la orina o por el sudor, mientras que los insolubles componen las heces fecales, restos finales del proceso digestivo.

La excreción. — *En los invertebrados.* — En los protozoos más elementales, el agua que circunda la membrana celular recibe las materias de desecho. Los amébidos expulsan al exterior el exceso de amoniaco a través de una o varias vacuolas contráctiles. En los espongiarios, los productos de desecho pasan, por difusión, de las células interiores a las periféricas y de éstas al agua del entorno. En los artrópodos e insectos, aparecen ya órganos especializados en la función excretora, como los tubos de Malpighi, que confluyen en el intestino para verter productos filtrados desde el celoma. Con las heces salen asimismo al exterior cristales de ácido úrico, oxalatos, urea, carbonato y amoniaco.

Los nefridios, en forma de tubos sinuosos, se abren en la cavidad celomática por una especie de tolva ciliada *(nefrostoma)* y terminan en un simple poro excretor *(nefridióporo)*. A estos tubos, que tienen especialmente los platelmintos, las lombrices de tierra y los moluscos, se les da a veces el nombre de *celomaductos*.

Los crustáceos están provistos de glándulas maxilares y antenales de acción claramente excretora.

En los vertebrados. — La excreción en los vertebrados se verifica principalmente por los *riñones*, órganos pares situados en posición dorsal posterior y bajo las vértebras lumbares, salvo en las salamandras y los peces que los tienen a lo largo del *túbulo*. En ellos se forma el líquido llamado *orina*.

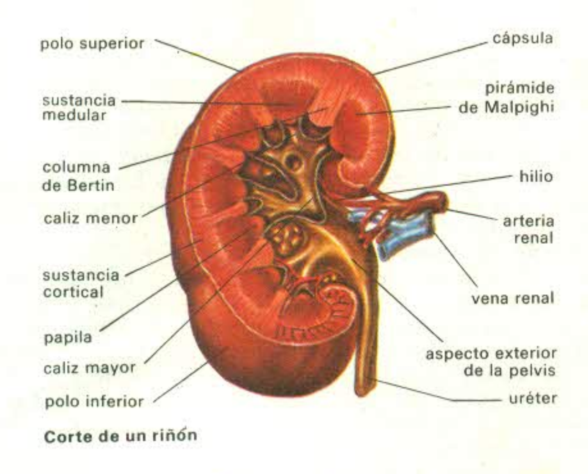
En los animales superiores, incluyendo al hombre, los riñones se componen de *médula esplénica* y *corteza*. En ésta se encuentran unos haces de arteriolas o glomérulos, llamados *nefromas*, que realizan un amplio recorrido por la médula. Cada nefroma está rodeado por una *cápsula de Bowman*, que tiene dobles paredes y forma globular, integrada en el *corpúsculo de Malpighi*. Éste continúa por un conducto dividido en segmentos y circundado por capilares sanguíneos, para llegar a la pelvis renal, donde se recoge la orina para descender luego por el *uréter*, de los que hay uno en cada riñón, hasta la *vejiga*.

La actividad renal se inicia por un proceso de filtración de la sangre, la cual afluye continuamente a los riñones por las arterias renales para liberarse allí de las materias de desecho que lleva en suspensión y realizar, al mismo tiempo, las operaciones de filtrado por presión. Este proceso consume energía y oxígeno. La *urea* se separa y se elimina constantemente, al igual que el calcio, sodio, glucosa o ácido úrico, y todos estos productos, al disolverse en el agua que absorben los riñones, constituyen la *orina*. La urea se crea en el hígado a partir de la *arginina* y puede formar sales cristalinas con ciertos iones que dan lugar a *cálculos* o concreciones de urato cálcico o potásico, insolubles en la orina y a veces difíciles de expulsar del riñón.

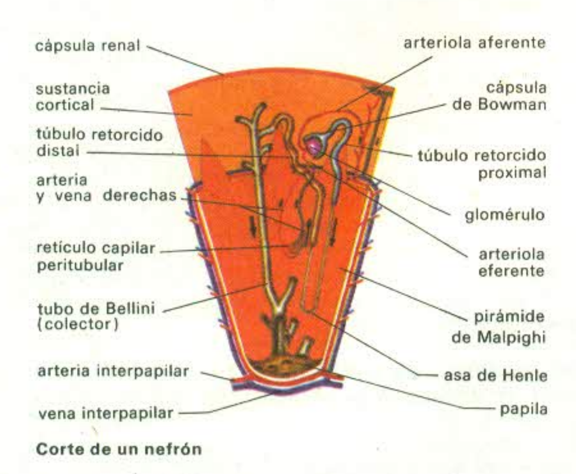
La orina, una vez llegada a la vejiga, se acumula en ésta hasta el momento de la *micción* o expulsión al exterior, que se produce a través de un conducto llamado *uretra*, gracias a un mecanismo reflejo-muscular.

El *sistema sudoríparo*, distribuido por toda la piel y consistente en glándulas sudoríparas que continuamente evaporan *(transpiración)* una serie de productos sólidos disueltos en el agua, complementa la acción excretora urinaria. El sudor formado actúa también como termorregulador del cuerpo, lo cual explica que se transpire más en verano que en invierno.

Las *excreciones gaseosas*, efectuadas por vía pulmonar, hacen que se evapore en la atmósfera un volumen de residuos que oscila entre un cuarto y medio litro por



Corte de un riñón



Corte de un nefrón

El riñón, situado en la parte posterior de la cavidad abdominal, elimina las sustancias nocivas de la sangre.

día, cantidad que es superior en época calurosa. El más importante de los gases expelidos es el anhídrido carbónico (CO_2), procedente de las oxidaciones celulares inherentes a las funciones circulatoria y respiratoria.

Homeostasis

La *homeostasis* consiste en la conservación de la estabilidad del medio interno o líquido intercelular en que se hallan inmersas las células somáticas. Este líquido, en los animales vertebrados, se encuentra equilibrado con la sangre, y su composición u homeostasis es constante con respecto a la presión osmótica, la acidez, la alcalinidad, la concentración iónica individual y la concentración de glucosa, gracias a mecanismos sensibles que rigen los dos primeros elementos. Si surge cualquier desviación, se desencadenan procesos equilibradores que logran restaurar la normalidad, pero, cuando esto no se consigue, las consecuencias que se derivan son muy nocivas para las células, especialmente para las de los tejidos cerebrales por ser éstas más delicadas y vulnerables.

En los insectos, la composición del líquido intercelular parece menos constante y en los otros invertebrados se carece de datos suficientes sobre la homeostasis.

El gran fisiólogo francés Claude BERNARD (1813-1878) resumió el concepto que estudiamos al decir que *todos los mecanismos vitales sólo tienen un objeto único, a pesar de su variedad : mantener constante las condiciones vitales en el ambiente interno*. Y esa estabilidad interna (homeostasis) debe mantenerse en todas las circunstancias en completa independencia de los cambios externoambientales. Así, cuanto mayor sea la independencia lograda por un grupo animal en relación con el entorno, mayor será aún su progreso evolutivo.

Morfología

Valoraciones evolutiva y funcional. Analogía y homología. Simetría y asimetría. Ejes y planos de simetría. Otras consideraciones.

La descripción zoológica general no sería completa sin un análisis, por muy somero que éste sea, de las formas animales y de los principios a que éstas responden. La *Morfología*, como indica la etimología de esta palabra, es la que se ocupa de este estudio, buscando explicación a las estructuras y a los tipos organizativos que parecen regir la constitución corporal de los múltiples grupos de animales.

Valoraciones evolutiva y funcional. — Los tipos organizativos que se acaban de mencionar pueden valorarse según principios evolutivos o funcionales, ya que la dinámica morfológica responde a la necesidad de insertarse mejor en el ambiente. Como éste ha cambiado en el transcurso de las eras geológicas, hay que considerar dichas adaptaciones con un enfoque evolutivo-filogenético y calificar de filogenético-funcional la estructura de los animales en el momento actual. El organismo no es más que la resultante dinámico-morfológica que ha logrado acompasar, a través de los tiempos, esas estructuras a las exigencias funcionales.

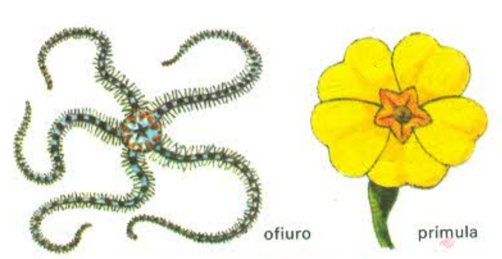
Analogía y homología. — La analogía y la homología empezaron a estudiarse desde mediados del siglo XIX, con la pretensión de hallar las causas de las múltiples formas animales. Gracias a esto, se desarrollaron la Anatomía comparada, disciplina muy importante para la Morfología, y la Paleontología.

De los estudios comparativos anatómicos surgieron pronto dos conceptos relativos a los miembros, que empezaron a ser calificados de *homólogos* y *análogos*. Los órganos análogos son los que presentan afinidades funcionales, aunque difieran por la embriogenia, relaciones y condición estructural, y los homólogos los que tienen embriogenia correspondiente y semejantes estructuras y relaciones. Unos ejemplos aclararán mejor lo afirmado anteriormente. Las alas de los insectos y aves, que tienen el vuelo como función, al diferir embriogénica y estructuralmente, son órganos análogos; las alas de las aves y la extremidad prensil de los primates, que tienen diferentes funciones, pero que poseen origen embrionario y estructura anatómica semejantes, se consideran órganos homólogos.

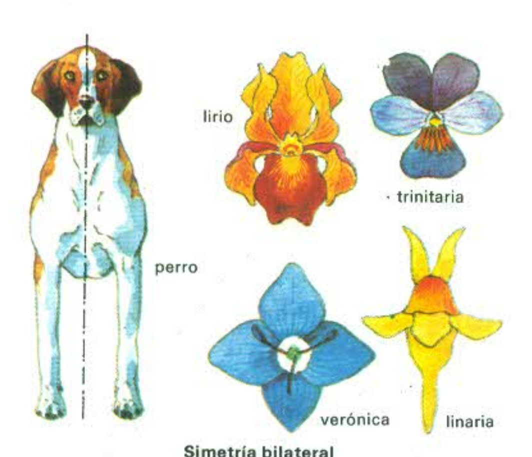
En un mismo tipo zoológico se pueden reconocer homologías. También se registran ciertas semejanzas estructurales en distintos grupos animales cuando se encuentran ante las mismas condiciones de vida y ambiente. En estos casos, la evolución recibe el nombre de *convergencia morfológica.*

Simetría y asimetría. — En el diseño morfozoológico se observa una planificación arquitectónica basada en una serie de planos y líneas imaginarios en torno a los cuales se desarrolla la forma animal considerada. Puede, por lo tanto, referirse a una serie de conceptos geométricos tales como *simetría*, presente y fácilmente visible en la mayoría de los animales, y *asimetrías* internas de tipo funcional, como son, entre otras, la hipertrofia del ovario izquierdo en las aves o el uso predominante del lado derecho en el hombre *(dextrismo).*

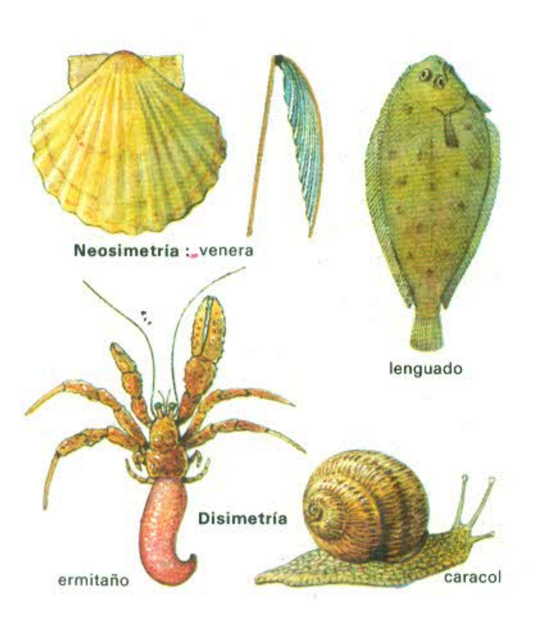
SIMETRÍA de los animales y las plantas



Simetría axial de orden 5



Simetría bilateral



Neosimetría : venera

Disimetría

Aparte de algunas excepciones (amébidos y espongiarios), la simetría se encuentra en todos los animales, presentándose de varias formas. Puede existir con respecto a un centro, como en el ejemplo típico de la esfera, y en el caso de los radiolarios y helizoarios. Si la esfera está atravesada por ejes, se trata de animales homoáxicos, lo que quiere decir que tienen ejes que son totalmente semejantes. No obstante, esta simetría sólo suele ser por lo común aproximada o incompleta y se encuentra muy a menudo modificada por numerosas variantes individuales o específicas.

La simetría que predomina es la originada por un eje principal, con dos extremos desiguales *(heteropolares)* que pueden ser cortados perpendicularmente por ejes equivalentes *(homopolares)* surgiendo así formas de simetría *radiada* o *monoáxica*, propias de animales sedentarios como los poríferos y las vorticelas. La simetría radiada da lugar a dos variedades : la *pentarradiada*, propia de los equinodermos, y la *bilateral*, mucho más generalizada. En ésta puede darse la simetría respecto a un plano (o a dos). De este modo, cuando el plano divide al cuerpo en dos mitades simétricas a izquierda y derecha, se dice que es *bilateral simple*. Si, por el contrario, hay dos planos que no son equivalentes, la resultante es una *bisimetría*, llamada también simetría *bilateral doble*. Entre los ejemplos de bilaterales simples figuran los cordados, artrópodos y gusanos, y de dobles, los tenóforos planctónicos.

Ejes y planos de simetría. — De lo que se acaba de exponer se deduce la posibilidad que hay de referir las zonas corporales a un sistema de *ejes* y de *planos*.

El eje principal, en la simetría radiada, tiene dos polos opuestos : el *basal* y el *apical*, es decir, el inferior y el superior, respectivamente. Uno de éstos es la boca, por lo que se llama *oral*, y su antagónico es el *aboral*.

Si se considera un conjunto triaxial, en la simetría bilateral (con ejes interperpendiculares) hay un eje *cefalocaudal*, otro *dorsoventral* (ambos heteropolares) y un tercero *transverso* u *homopolar*. Puede alzarse un plano medio en el eje cefalocaudal que divida el cuerpo en dos mitades (izquierda y derecha). Si se corta este plano con otro medio, resultan otras dos mitades (dorsal y ventral), y, si se corta finalmente en medio con un plano dorsoventral y otro transversal, el cuerpo queda dividido en una parte caudal y otra cefálica.

Se llaman planos *sagitales* los paralelos al medio, *frontales* los paralelos al que divide el cuerpo en mitad dorsal y mitad ventral y *transversales* los paralelos al que comprende los ejes dorsoventral y transversal. Las secciones formadas por planos y cortes derivados de éstos son respectivamente sagitales, frontales y transversales. Si la referencia se hace al centro del animal, ésta puede ser *proximal* o *distal*.

Otras consideraciones. — Otra función variable incidente en la arquitectura corporal es el tamaño del animal, porque la relación de la superficie al volumen varía al aumentar las longitudes lineales. Por ello no es posible utilizar igual conjunto estructural para formas animales grandes o pequeñas.

La actividad vital del animal corre a cargo de los tejidos, órganos, aparatos y sistemas.

Herencia

Aspectos de la herencia. Herencia biológica. — Variabilidad : Clases de variaciones. Fundamento de algunos procesos evolutivos. Biometría.

La *herencia*, como ya se ha dicho, es la propiedad que tienen los seres vivos de parecerse a aquellos de los cuales descienden.

Aspectos de la herencia. — La herencia es *cualitativa* cuando procede de un pequeño número de genes que tienen una acción importante. En ella, la expresión de un carácter determinado difiere profundamente entre los individuos de una misma especie, como ocurre con el sexo. Esta variación se llama *discontinua*.

La herencia *cuantitativa* se debe a la acción combinada de cierto número de genes, cada uno de los cuales produce un efecto menor y los caracteres difieren solamente en intensidad entre los individuos de igual especie. Existen en este caso todas las gradaciones posibles (variación *continua*) de uno a otro extremo, si bien predominan los tipos intermedios. El mejor ejemplo que se puede citar es la estatura.

La herencia *citoplasmática* es extracromosómica, es decir, que no es mendeliana, distinguiéndose de la herencia genética porque se debe al plasmagén o al plastogén o a ambos elementos conjuntos. El *plasmagén* es una partícula citoplasmática con las propiedades del gen, aunque se diferencia de éste en que no se hereda por los gametos, según las leyes mendelianas. Es, por tanto, autorreproductor, transmite la herencia e incide sobre el carácter de la célula portadora. El *plastogén* consiste en un plastidio o corpúsculo citoplasmático de la célula vegetal, que contiene un factor con las mismas propiedades que un gen y con efectos semejantes a los del plasmagén. Tampoco se hereda según las leyes mendelianas.

La transmisión a los descendientes de los caracteres de los progenitores, como respuesta a las influencias medioambientales, constituye la llamada herencia de los *caracteres adquiridos*. Esta teoría, sostenida por el naturalista francés LAMARCK (1744-1829), ha sido objeto de numerosas críticas y refutaciones, pero ha llegado hasta nuestros días por medio de una escuela neolamarckista que apareció a finales del siglo XIX. Se ha demostrado que la selección natural puede modificar las generaciones sucesivas de una población de tal manera que el carácter, adquirido inicialmente como respuesta al medio ambiente, puede desarrollarse luego de modo independiente a los estímulos ambientales.

Herencia biológica. — El concepto de herencia biológica se refiere a los caracteres biológicos transmisibles a la descendencia, que pueden ser *específicos*, si son propios de la especie biológica a que pertenece el individuo, *particulares*, es decir, exclusivos de los progenitores o puramente raciales, y *nuevos*, cuando aparecen de modo espontáneo y pueden transmitirse por medio de herencia.

Variabilidad

Todos los factores hereditarios se encuentran en los cromosomas y cualquier organismo, vegetal o animal, es un *individuo*. El conjunto de individuos semejantes, procedentes de un tronco común y capacitados para la reproducción entre ellos mismos, constituye la *especie*. Al hablar de « individuos semejantes », no se quiere decir que se trata de seres idénticos, puesto que entre los muchos existentes en una especie siempre hay rasgos que permiten diferenciarlos, aunque sólo sea por ligeros valores cualitativos o cuantitativos. Estas diferencias reciben el nombre de *variaciones* y se llama *variedad* al fenómeno considerado en su conjunto.

Las diferencias que se producen entre los individuos pueden responder al medio ambiente durante el desarrollo, a los genes o a la dotación citoplasmática con que inicia la vida el ser considerado. Todo ello incide, por separado o en conjunto, en el grado de adaptabilidad de una especie a condiciones diversas.

Clases de variaciones. — Las *variaciones* pueden ser *hereditarias* o *germinales*, si aparecen en algunos descendientes sin la intervención del ambiente, y *somáticas* o *ambientales*, cuando se deben a la temperatura, al alimento o a otros factores externos.

En los animales de reproducción sexual no hay dos individuos exactamente iguales, a excepción de los gemelos univitelinos, y los de una misma especie difieren en proporciones, tamaños, hábitos y fisiología. Estas variaciones llamaron la atención del naturalista inglés Charles DARWIN (1809-1882), quien expuso la teoría del origen de las especies por la transformación *(darwinismo)*. Este sabio no pudo dar una explicación completa de sus creencias, porque en la época en que vivió se desconocían todavía las leyes de la herencia, y no supo distinguir las diferencias existentes entre las variaciones hereditarias y las no hereditarias. Llegó a suponer que las pequeñas variaciones de tipo hereditario en las especies salvajes eran suficientes para explicar los procesos evolutivos de la Naturaleza.

No obstante, a partir de las ideas expuestas anteriormente, dedujo el principio de la lucha por la vida mantenida por los seres vivos. Éstos, sometidos a una verdadera selección natural, sólo sobreviven si poseen ciertos caracteres especiales y si siguen un proceso continuo de adaptación para afrontar y vencer las innumerables dificultades que de modo constante se presentarán en el curso de su existencia.

Los avances más profundos en esta teoría se produjeron a finales del siglo XIX, después de la muerte de Darwin, cuando se inició el estudio de las relaciones entre reproducción y células germinales. En la actualidad, gracias a las investigaciones citogenéticas y al conocimiento del comportamiento genético-cromosómico, se comprenden mucho mejor ciertos procesos evolutivos.

Fundamento de algunos procesos evolutivos. — Se ha llegado a comprobar en la práctica que tanto la herencia como la Genética permiten comprender mejor los fenómenos de variabilidad y variación. Cabe señalar que algunos procesos evolutivos importantes se basan en los fundamentos siguientes : el número de cromosomas que pasa a cada gameto se reduce a la mitad al segregarse en la meiosis los miembros de las parejas de cromosomas homólogos; el desarrollo de los caracteres individuales depende de los genes, dispuestos linealmente en el interior de los cromosomas que se encuentran en los núcleos celulares; las alteraciones de la dotación génica y de los caracteres que se transmiten a las generaciones sucesivas están influidas por los reorde-

namientos y por las mutaciones de los genes; y la unión al azar de un par de gametos de distinto sexo (singamia) mezcla las dotaciones cromosómicas y génicas de ambos padres dando origen a individuos con diferentes combinaciones génicas.

La fijación en cualquier especie de una de estas variaciones depende de distintos factores, tales como el mayor o menor aislamiento, la segregación de grupos más o menos numerosos, el tamaño de las poblaciones, etc. En las especies salvajes concretamente hay muchas variaciones hereditarias por las mutaciones que de continuo aparecen en la Naturaleza y porque los individuos son muy heterocigóticos, es decir, que, para un carácter determinado, poseen un gen dominante y otro recesivo.

Biometría. — Corresponde a la *Biometría* el estudio cuantitativo de la variabilidad, cuyos fundamentos matemáticos fueron elaborados por el inglés Karl PEARSON (1857-1936), quien afirmaba que las variaciones individuales consisten en pequeñas diferencias graduales que permiten colocar a los individuos examinados en una serie continua, según el peso, la estatura o cualquier otra característica. Admitida esta continuidad, pueden agruparse los sujetos considerados en frecuencias o clases de variabilidad, es decir, en grupos cuya amplitud se elige arbitrariamente. Si se observan, por ejemplo, mil individuos en función del peso de cada uno, se comprueba que la mayor parte de las frecuencias corresponden a valores medios, aunque habrá también algunos casos de pesos altos y bajos. Estas variaciones pueden representarse gráficamente por histogramas, curvas de Gauss o polígonos de frecuencia.

La Biometría se sirve de la Estadística y de la Bioestadística en sus estudios.

Para concluir, debe señalarse que la variabilidad, unida a la evolución, ha dotado al mundo de numerosas formas de vida, cuya clasificación y estudio son el objeto de la Zoología especial o descriptiva.

Zoología descriptiva

Una vez estudiado el mundo animal en los aspectos embriológico, histológico, funcional, etc., cabe describir un prototipo para cada una de las especies, pero previamente es imprescindible proceder a la exposición de una serie de múltiples consideraciones relativas a la historia de la denominada clasificación sistemática.

Clasificación sistemática

Nomenclatura binaria : Nombres científicos. Criterios de clasificación. La especie. Otras categorías superiores. Denominación. Normas sobre nomenclatura científica. Clasificación de los animales.

En el estudio de las plantas y en el de los animales, los especialistas se interesan tanto por las semejanzas como por las diferencias que presentan las especies para lograr la agrupación lógica y sistemática de las mismas. Admitido este procedimiento clasificatorio, es evidente la necesidad de adoptar una nomenclatura que sea universalmente comprendida para superar de este modo la limitación que supondrían las denominaciones locales o nacionales.

Nomenclatura binaria

En el siglo XVIII, Carl von LINNEO (1707-1778) sentó las bases de la nomenclatura binaria en las plantas, aplicada también al reino animal. El empleo de la lengua latina y el uso de dos nombres, como mínimo, en las designaciones sirvieron para unificar criterios y universalizar conceptos. Los científicos de la época aceptaron en seguida las propuestas que hizo el naturalista sueco en el libro *Systema naturae*.

Nombres científicos. — Anteriormente a Linneo, se habían efectuado trabajos de catalogación, como los de Aristóteles, por ejemplo, pero siempre se habían limitado a aplicar unos nombres y a publicar listas de animales. Actualmente, de acuerdo con los nombres científicos procedentes de las obras del sabio sueco, una comisión internacional de nomenclatura zoológica ha establecido las reglas a las que deben atenerse todos los zoólogos especializados en Sistemática. En 1898 se reunió el Congreso Internacional de Zoología y una comisión permanente elaboró un código, adoptado en 1901, que consiguió estabilizar la nomenclatura animal. Ésta se considera en nuestros días como un medio y no como un fin, y se presenta como disciplina distinta de la clasificación, si bien coinciden ambas en algunos aspectos. En efecto, la primera nos facilita un instrumento útil de referencia a determinado organismo, mientras que la segunda fija las relaciones y diferencias entre diversos organismos, basándose en la Anatomía, Fisiología, Paleontología y hasta en el comportamiento (Etología).

Criterios de clasificación. — El simple examen de un grupo de animales muestra la existencia de determinadas semejanzas y desemejanzas entre ellos, que obliga a clasificarlos por sus caracteres y relaciones. Para ello se pueden utilizar dos criterios : uno, que podría llamarse *natural*, se basa en teorías evolutivas y permite establecer parentescos, y el otro, denominado *natural moderno*, utiliza todos los datos disponibles (genéticos, embriológicos, anatomofisiológicos) para distinguir los caracteres. Gracias a ambos se descubren *homologías* (semejanzas por el origen) y *analogías* (semejanzas de función).

A partir de esas semejanzas y desemejanzas, puede llegarse a considerar un grupo de individuos con caracteres comunes, diferentes en muchos aspectos de otros grupos, y se crea de este modo el concepto de especie.

La especie. — Los animales cuyos antepasados son comunes están relacionados genéticamente y pueden cruzarse entre sí indefinidamente dando lugar a una descendencia fértil que se parece a los padres. Se dice entonces que pertenecen a la misma *especie*. Existen, no

obstante, pequeños grupos de individuos de una especie que se diferencian de los otros, más cuantitativa que cualitativamente, y que reciben la denominación de *subespecie*. Cuando, al ocupar áreas territoriales distintas, presentan variaciones de caracteres intermedios, estas subespecies se consideran como *razas geográficas*.

El concepto que se tiene de especie, base considerada fundamental o unidad tipo de la clasificación, consiste sencillamente en el conjunto de animales o vegetales que, habiendo nacidos unos de otros o de padres comunes, se encuentran unidos entre sí por los lazos creados por la herencia y se asemejan como hermanos. La subespecie posee una categoría sistemática inferior a la especie ya que se trata de una simple modificación o transformación de ésta. Los estudios más recientes demuestran que la única unidad sistemática con ciertos visos de realidad es la del genotipo homocigótico, aunque hay que decir que no conviene limitar la especie a los grupos de individuos dotados de los mismo genes.

Otras categorías superiores. — Cuando algunos caracteres son comunes a dos o más especies, éstas se integran en un *género*. Si varios géneros comparten una comunidad de caracteres, forman una *familia*. Siguiendo así la comparación de los rasgos comunes, de las familias se pasa al *orden*, de los órdenes a las *clases* y de éstas a los *phyla* (plural de *phylum*). El conjunto de los *phyla* constituye el *reino animal*, que puede dividirse en subreinos.

En forma lineal y de mayor a menor categoría, el esquema puede representarse de la siguiente forma :

Reino — Subreino — Phylum (o Tipo) — Subphylum — Clase — Subclase — Orden — Suborden — Familia — Subfamilia — Género — Subgénero — Especie — Subespecie — Raza — Subraza

Pese a la sencillez aparente del sistema expuesto, existen, en realidad, bastantes dudas al referirse a ciertos seres. En efecto, todos los conceptos, del phylum a la subespecie, son puramente convencionales, ya que en la Naturaleza hay una serie de animales que se agrupan en ciertas formaciones, que se pueden denominar género o familia, por ejemplo, según los criterios del especialista en Sistemática. A pesar de la ya mencionada reglamentación de la nomenclatura zoológica, los clasificadores suelen pertenecer a dos grandes escuelas : la de los que contemplan el todo en grandes agrupaciones y la de sus antagónicos, que son capaces de llegar a subdivisiones extremas y, a veces, absurdas. Ésta es la razón por la que no se ha conseguido todavía una clasificación realmente universal y, prácticamente, existen tantas como autores han abordado el problema desde que se empezó a estudiar Zoología.

Denominación. — Si no se ha llegado a un acuerdo general en cuanto a la clasificación, hay que señalar que, desde los tiempos de Linneo, se aceptaron unos principios para facilitar el entendimiento universal sobre la denominación. El uso de la lengua latina permitió superar la nomenclatura nacional o regional y, gracias a la inteligente propuesta del naturalista sueco, se dispone hoy de una terminología científica y universal en el campo de la Zoología.

Este sistema, como ya se indicó, fue expuesto por primera vez en el libro *Systema naturae* (décima edición) de Linneo y se basa en la forma binomia o trinomia (en el caso de subespecies). La primera palabra se refiere al género y la segunda a la especie. Ambas han de ser suficientemente claras. El nombre específico indica homogeneidad y se usa para un grupo de animales con caracteres comunes, poniendo también en evidencia las diferencias entre las diversas especies. El género, en cambio, implica cierto grado de relación.

En la actualidad predomina la tendencia a usar la nomenclatura trinomia, de modo que el animal queda definido de manera más rigurosa (género, especie, subespecie), aunque el sistema binario sigue también vigente.

Normas sobre nomenclatura científica. — Las principales reglas por las que se rige la nomenclatura científica son las siguientes : no se admiten nombres anteriores a los que Linneo dio en la décima edición de *Systema naturae;* los nombres científicos deben ser latinos o latinizados; no pueden llevar el mismo nombre dos géneros distintos de animales ni tampoco dos especies del mismo género; el nombre genérico debe constar de una sola palabra y su inicial ha de escribirse con mayúscula; el nombre específico, escrito con minúscula, debe ser una palabra simple o compuesta, siendo normalmente un adjetivo que concuerda con el nombre del género; cuando se propone un género nuevo, es necesario indicar la especie tipo; los nombres de familia se forman añadiendo la terminación «-idae» a la raíz del nombre del género tipo; los de subfamilia lo hacen análogamente, pero con la terminación «-inae»; y, cuando en un libro científico se describe un animal por primera vez, el autor puede poner su propio nombre en forma abreviada tras el nombre de la especie.

Clasificación de los animales. — La clasificación es la ordenación de los animales en grupos y se basa en las relaciones de los mismos, es decir, en asociaciones de contigüidad, similitud, etc.

No existe acuerdo universal en la catalogación del número de especies animales vivientes en nuestro planeta. Actualmente no se conocen todas las existentes, ya que permanecen inexploradas extensas zonas terrestres y, además, muchos países carecen del catálogo correspondiente a sus propias especies. Son, por consiguiente, muy fragmentarios los datos que se poseen, si bien se sabe que el mayor número de especies corresponde a los insectos y el menor a los vertebrados. Se admite que el número de ellas llega al millón o lo supera ligeramente. Pero, de todos modos, esta estimación numérica tiene menos interés que una clasificación que permita una distribución lógica de los animales para poder llegar a una buena exposición descriptiva.

La clasificación que se seguirá en el tratado de Zoología será la que se indica a continuación :

INVERTEBRADOS. — Protozoos. Metazoos.

CORDADOS. — Peces. Anfibios. Reptiles. Aves. Mamíferos.

Las líneas generales de esta clasificación son, a grandes rasgos, las mismas que las que tuvo la evolución biológica. Algunas de las clases descritas, simultáneas en el tiempo, son la continuación de otras. Se van a estudiar primero las formas elementales para llegar gradualmente a las más complejas, utilizando las abreviaturas siguientes :

Ph = Phylum	F = Familia
Cl = Clase	G = Género
O = Orden	E = Especie

Para indicar el prefijo *sub-* se antepone una S a las abreviaturas anteriores, de modo que SPh = Subphylum, SCl = Subclase, etc.

Invertebrados

Protozoos : Ameba. Euglena. Paramecio. Plasmodio. Generalidades sobre los protozoos. Los mesozoos. — **Metazoos :** Poríferos : Leucosolenia. — Celentéreos : Hydra. Anémona. Medusa. Filogenia de los celentéreos. — Platelmintos : Fasciola hepática. Tenia solium. Euplanaria. — Nematelmintos : Ascaris lumbricoides. Triquina. Otros nematodos. — Equinodermos : Estrella de mar. — Moluscos : Caracol de huerta. Mejillón. Calamar. — Anélidos : Lombriz de tierra. Sanguijuela. — **Artrópodos :** Características generales. — Onicóforos. — Mandibulados : Crustáceos : Cangrejo de río. Bogavante y otros crustáceos. — Insectos : Variaciones anatómicas. Vuelo y migraciones. Reproducción y estado social. Plagas y enfermedades. Especies beneficiosas. Filogenia. Órdenes y especies. *Tisanuros. Ortópteros. Isópteros. Odonatos y efemerópteros. Hemípteros. Lepidópteros. Dípteros. Coleópteros. Himenópteros.* — Miriápodos : Ciempiés. Milpiés. — Quelicerados : Merostomas : Cacerola de las Molucas. — Arácnidos : Araña común. Escorpión. Acarinos.

El grupo de los *invertebrados* abarca todos los animales que están desprovistos de columna vertebral y se divide en dos subgrupos que, a su vez, se subdividen según el siguiente esquema :

INVERTEBRADOS	*No artrópodos*	Protozoos
	Artrópodos	Metazoos

Protozoos

Los *protozoos* son animales unicelulares que constituyen un phylum formado por varias clases. Se trata de organismos microscópicos que viven en todos los medios, preferentemente en las aguas, ya sean éstas salobres, dulces o corrompidas. Pueden ser móviles y sedentarios, de vida autónoma y parásitos, asociados de manera estrecha o formando colonias. Algunos son purificadores de aguas residuales, pero otros, en cambio, son productores de enfermedades tales como la malaria, disentería y encefalitis letárgica o enfermedad del sueño.

Aquellos que son móviles ejecutan los movimientos mediante seudópodos, cilios o flagelos, y los fijos o sedentarios se enquistan, es decir, se encierran en una cápsula o quiste, que abandonan a veces cuando las condiciones, al ser más favorables, permiten que lleven una manera distinta de vivir.

Todos los protozoos, considerados individualmente, son organismos completos capacitados para realizar las actividades y operaciones propias de la vida animal.

Estos animales, cuyo nombre se deriva de las palabras griegas *protos* (primero) y *zoon* (animal), tienen una organización muy simple y fueron los primeros que aparecieron en la superficie del Globo Terráqueo. A continuación se describirán, a título de ejemplo, algunos tipos de ellos, no sin señalar antes su división esquemática :

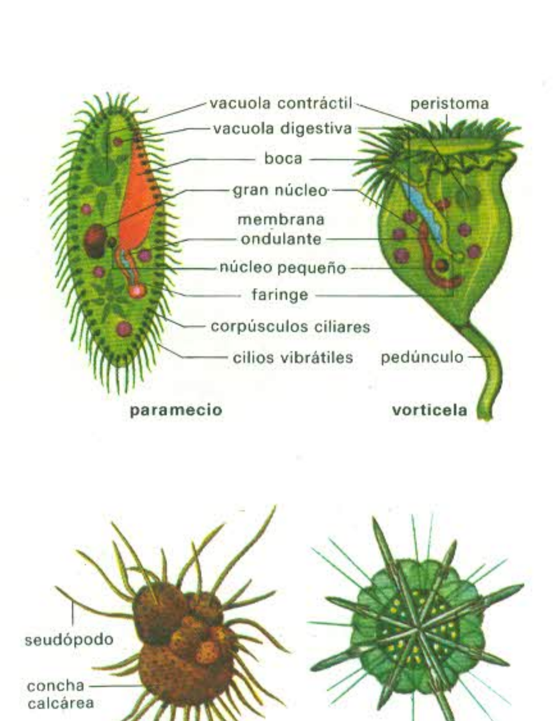
PHYLUM	CLASE	SUBCLASE	ORDEN
Protozoos	Sarcodina (rizópodos)	Rizópodos	Amoebina
			Foraminífera
			Mycetozoa
		Actinópodos	Heliozoa
			Radiolaria
	Mastigóforos	Fitoflagelados	Euglenoidina
			Phitomonadina
			Chrysomonadina
			Chloromonadina
		Zooflagelados	Rhizomastigina
			Protomonadina
			Polimastigina
	Ciliados (infusorios)	Euciliados	Peritricos
			Holotricos
			Spirotricos
	Esporozoos	Telosporidia	Haemosporidia
			Coccidia
			Gregarinia
		Cnidosporidia	Microsporidia
			Helicosporidia
			Actinomyxidia
		Acnidosporidia	Sarcosporidia

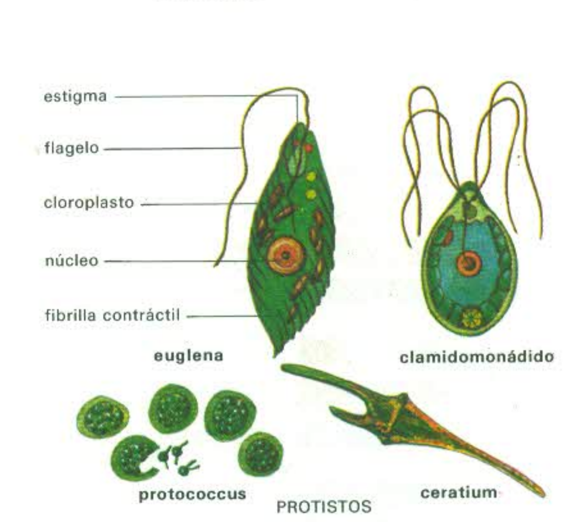
Ameba. — La ameba *(Cl. Sarcodina, SCl. Rizópodos, O. Amoebina)* se cita frecuentemente como el ser más simple del mundo animal y por ello ha sido objeto de numerosas investigaciones. Vive en el agua dulce y es también parásito de diferentes especies animales. Responde de manera vivaz a los estímulos ambientales e internos, a los cambios térmicos, al hambre y a los contactos. Desde el punto de vista morfológico, es de aspecto gelatinoso, flexible, asimétrico e irregular. Está rodeada de una finísima membrana, muy elástica, en torno a un endoplasma con núcleo discoidal. Efectúa la respiración por ósmosis y está dotada de varias vacuolas nutritivas y una contráctil. Tiene movimientos típicos (ameboides), emitiendo seudópodos hacia el estímulo. Se alimenta esencialmente de flagelados y ciliados vivos, así como de algas microscópicas, que engloba y captura para digerirlas luego en la vacuola. Se reproduce por bipartición, con mitosis nuclear previa. Algunas variedades de ameba se enquistan cuando el medio les resulta desfavorable.

Euglena. — La euglena *(Cl. Mastigóforos, SCl. Fitoflagelados, O. Euglenoidina)* tiene generalmente formas alargadas y delgadas, protegidas por una membrana flexible. Su extremo anterior está dotado de una boca o *citostoma*, seguida de *citofaringe* (esófago). Tiene una mancha ocular roja, fotosensible, y pigmentos clorofílicos o *cloroplastos*. Se alimenta por captura de microorganismos, por fotosíntesis o por nutrición saprofita, cuando el medio lo permite. Además de los movimientos corrientes, llamados euglenoides, es decir, parecidos a los del gusano, puede efectuar movimientos más enérgicos agitando el flagelo, o fotosensibles, dirigiéndose unas veces hacia la luz, si ésta es favorable, y otras huyendo de la luz solar recibida. Previa división mitótica del núcleo, se reproduce por bipartición longitudinal. Cuando el medio ambiente es hostil, puede enquistarse para protegerse, sin que sufra por ello alteraciones, y vuelve a resurgir si las condiciones ambientales resultan de nuevo favorables.

Paramecio. — El paramecio *(Cl. Ciliados, SCl. Euciliados, O. Holotricos)* forma parte de los ciliados, primeros protozoos descubiertos en el siglo XVII por el holandés Leeuwenhoek. Éstos pueden vivir en aguas dulces y salobres, a veces en colonias y otras como parásitos. Poseen cilios con los que se mueven y capturan el alimento. Reciben también el nombre de *infusorios*, ya que pueden obtenerse fácilmente tras la infusión de hojas y hierbas. Los cilios cubren una membrana envolvente en la cual se encuentra un espeso ectoplasma que rodea un líquido llamado endoplasma. La boca o citostoma comunica con la citofaringe y recibe las materias alimenticias gracias a las corrientes provocadas por la agitación de los cilios orales. La excreción de las materias nitrogenadas se realiza a través de vacuolas contráctiles y la respiración se efectúa por difusión del oxígeno disuelto en el agua ambiental, expeliéndose el anhídrido carbónico a través de las membranas. El movimiento es típicamente espiral y se realiza gracias a la acción propulsora de los cilios. La reproducción suele hacerse por bipartición, precedida de la división mitótica del micronúcleo, aunque también puede verificarse por conjugación, es decir, mediante la unión en parejas acompañada de un intercambio de productos del micronúcleo, o por autogamia, llamada también autofecundación.

Plasmodio. — El plasmodio *(Cl. Esporozoos, SCl. Telosporidia, O. Haemosporidia)* es un parásito hemático de los animales y del hombre, que se transmite





PROTISTOS

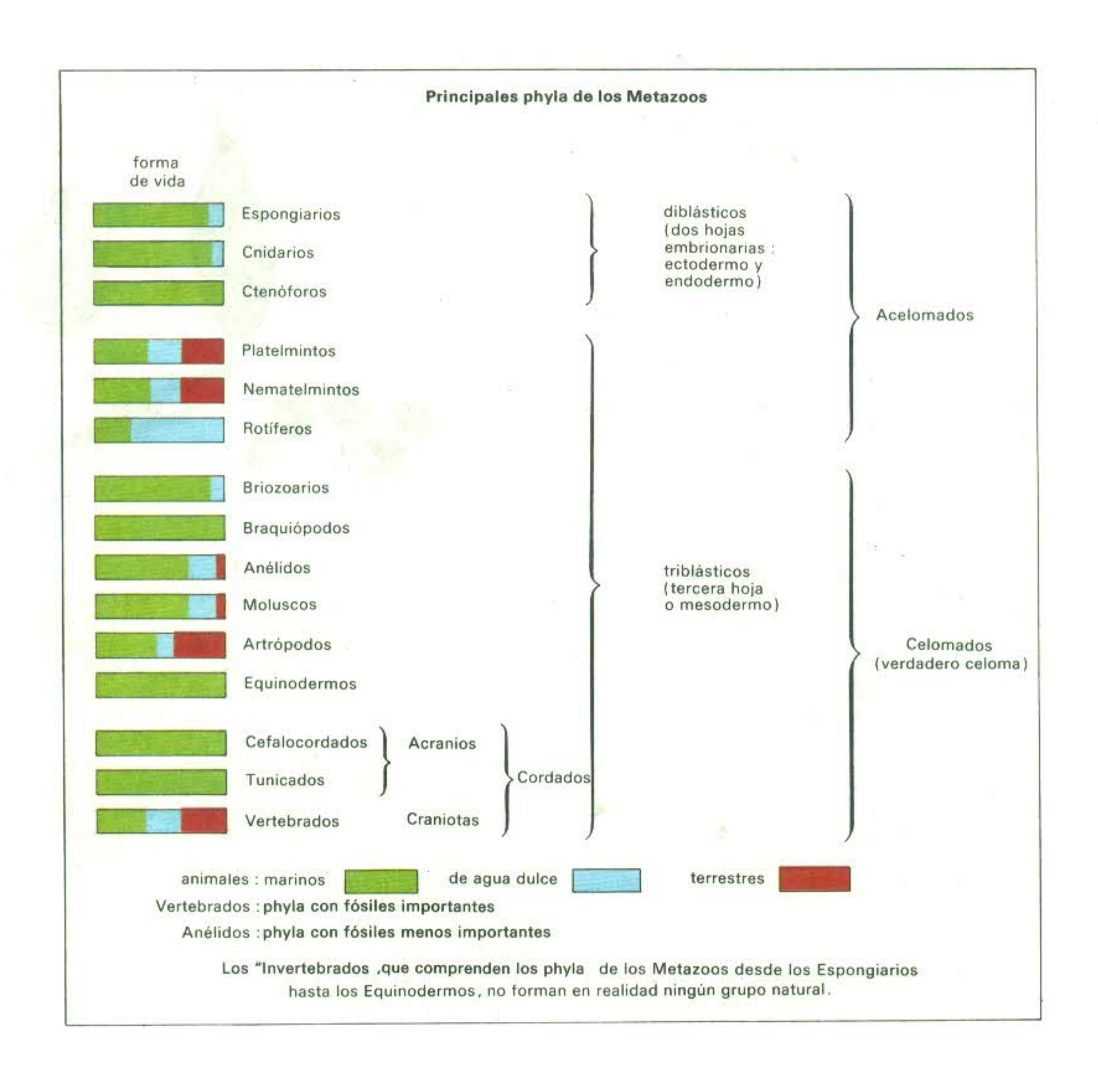
por insectos hematófagos, es decir, chupadores de sangre. Causa el paludismo y la malaria, enfermedades endémicas en zonas tropicales y subtropicales. Tiene un cuerpo de formas redondeadas y carece de vacuola contráctil o de apéndices locomotores. Se nutre de manera saprozoica, absorbiendo los alimentos directamente del huésped. Tanto la excreción como la respiración se efectúan por difusión. El movimiento se realiza por cambios de forma. Los esporozoos son los parásitos de mayor difusión, como lo demuestra la gran extensión del paludismo, que afecta a unos 200 millones de seres humanos. Son también responsables de enfermedades en los gusanos de seda, conejos y aves de corral (pebrina, coccidiosis, que ataca principalmente a los bóvidos, conejos y cerdos, y peste aviar). Estos males, que revisten todos carácter grave, afectan de modo importante a la economía de los países en los que existen. La erradicación de los parásitos que los originan se ha revelado como una tarea prácticamente imposible.

Generalidades sobre los protozoos. — Considerada la importancia de los protozoos desde los puntos de vista epidemiológico, económico y social, su estudio constituye una materia de la cual se encarga especialmente la Protozoología, disciplina fundamental en Medicina sanitaria, sobre todo en la tropical. Los protozoos son cuerpos unicelulares, microscópicos (entre 2 y 20 micras) y con un movimiento debido a la acción de cilios, seudópodos o flagelos; son asimétricos, de formas esferoidales y núcleos diferenciados; suelen vivir libres o parásitos y se enquistan cuando las condiciones ambientales les son desfavorables; se pueden alimentar de una manera *saprofita* (por materias diluidas en su hábitat) u *holofita* (si obtienen alimentos por fotosíntesis). La *filogenia* o génesis de este phylum es muy antigua, ya que se han encontrado abundantes restos fósiles en las rocas precámbricas. Entre los flagelados algunos tienen una estructura y una fisiología parecidas a ciertas algas verdes, lo cual lleva a pensar en un origen común de plantas y animales, en cuyo caso los protozoos serían entonces las formas de enlace entre los reinos vegetal y animal. Los grupos principales son *flagelados*, *amebas*, *foraminíferos*, *radiolarios*, *esporozoarios* y *ciliados*.

Los mesozoos. — Los mesozoos se pueden considerar como un eslabón entre protozoos y metazoos o entre los animales unicelulares y los pluricelulares. En efecto, carecen de cavidad digestiva, realizan una digestión intracelular y poseen cilios, al igual que los protozoos, pero, por su forma agusanada, organización celular y tipo de reproducción, se asemejan a los metazoos. Viven generalmente de modo parásito y están clasificados en unas cuarenta mil especies.

Metazoos

Los *metazoos* son seres cuyas células están organizadas en tejidos con funciones cada vez más especializadas, según se va ascendiendo en la escala evolutiva. Existe ya inicialmente una diferenciación celular con capa dermal externa y otra interna, disposición que recibe el nombre de *diploblástica* o *diblástica*. En fase más avanzada aparece la disposición *triploblástica* o *triblástica*, con una tercera capa intermedia en la que pueden formarse cavidades celomáticas. Según tengan o



no estos celomas, los metazoos se dividen respectivamente en *celomados* y *acelomados*.

La variedad de seres que reúnen estas características generales es tan grande que hay que hacer la siguiente división esquemática :

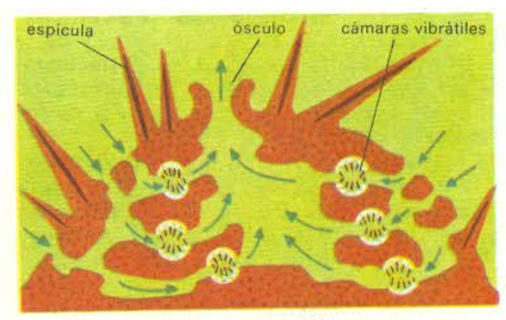
	PHYLUM	CLASE
I	*Poríferos* (esponjas)	Calcáreas Demosponjas Hexactinélidas
II	*Celentéreos*	Hidrozoos Antozoos Escifozoos
III	*Platelmintos*	Trematodos Cestodos Turbelarios
IV	*Nematelmintos* (asquelmintos)	Nematodos
V	*Equinodermos*	Asteroideos Ofiuroideos Equinoideos Holoturoideos Crinoideos
VI	*Moluscos*	Gasterópodos Pelecípodos Cefalópodos
VII	*Anélidos*	Oligoquetos Poliquetos Hirudíneos
VIII	*Artrópodos*	Crustáceos Insectos Miriápodos Merostomas Arácnidos

PORÍFEROS

Los *poríferos* difieren fundamentalmente de los otros metazoos por su embriogenia y estructura orgánica, siendo ésta la más sencilla de todas. Carecen de órganos auténticos así como de elementos celulares neurorreceptores. Suelen vivir fijos en rocas sumergidas y a profundidades que alcanzan hasta los cinco mil metros y, exceptuando una familia dulceacuícola, son marinos. De tamaño variable, que oscila entre un milímetro y dos metros, tienen una estructura corporal porosa, de la cual deriva el nombre, y son generalmente asimétricos y de coloración grisácea. La digestión de los espongiarios es intracelular, a diferencia de los demás metazoos. La reproducción puede ser agámica, mediante yemas, o gámica, dando larvas ciliadas.

La distribución goegráfica de los espongiarios tiene gran interés en Paleontología puesto que los fósiles marcan con bastante aproximación las líneas costeras. Las *silicisponjas* (esponjas con esqueletos silíceos) fueron frecuentes en los mares del Paleozoico Inferior, mientras que actualmente escasean. Todo lo contrario ocurre con las *calcisponjas*, predominantes en nuestros mares, aunque se han conservado algunos fósiles del Paleozoico Superior.

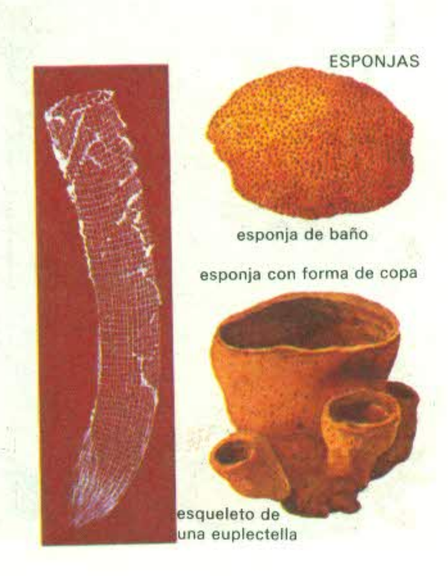
Leucosolenia. — La leucosolenia *(Cl. Calcáreas, O. Homocelos)*, tomada como prototipo de porífero, vive sedentaria en las rocas costeras, semejando un conjunto de tubos erguidos y alargados, unidos en la base por otros tubos dispuestos de modo horizontal. Los verticales tienen forma de saco, de finas paredes que



ESPONGIARIOS

rodean una oquedad cavitaria central con una amplia abertura u *ósculo* en la parte superior. Las paredes de esa cavidad, llamada *espongiocele*, constan de una epidermis epitelial y de una capa gelatinosa o *mesoglea*, compuesta de espículas multiformes cristalinocálcicas, que constituyen la trama esquelética y son muy útiles como criterio de clasificación, debido a las formas variadas que adoptan. Están perforadas además por infinidad de *ostiolos*. El interior del espongiocele está tapizado de células flageladas o *coanocitos* y poblado por otras células libres o *amebocitos*. El animal se nutre gracias a las corrientes de agua producidas por los flagelos, que penetran en los ostiolos y salen por el ósculo, reteniendo así el oxígeno y el alimento y eliminando los desechos por medio del agua expulsada.

La morfología de estos seres plantea el problema de la individuación. Se admite generalmente como unidad la representada por un ósculo y las áreas periféricas inmediatas, pero, a veces, son tan abundantes los conductos y ósculos que resulta prácticamente imposible determinar los límites individuales. La reproducción puede ser agámica (asexual), por gemación, en cuyo caso las yemas que se van formando pueden seguir unidas o, por el contrario, separarse. La forma gámica de reproducción se realiza a través de un espermatocito de otra esponja, el cual fecunda el óvulo situado en la zona mesenquimatosa materna. A partir de este óvulo fecundado se llega a la larva o *anfiblástula*, que vive libre hasta la fijación en un cuerpo sólido y el posterior desarrollo de la joven esponja.


ESPONJAS
esponja de baño
esponja con forma de copa
esqueleto de una euplectella

Una de las características más específicas de las esponjas es la capacidad de regeneración y de reorganización, lo cual significa que, si se desmenuza una, e incluso se pasa por un tamiz, las diferentes partes de que consta vuelven luego a unirse y a reorganizarse para formar un todo.

Las esponjas han sido muy apreciadas desde la antigüedad para fines de aseo y, aún hoy día, son indispensables para usos industriales. Las cálidas aguas de Florida, del golfo de México, de las Antillas, de las Bahamas, del mar Rojo y del Mediterráneo (Egeo, Tripolitania y Túnez) son las más ricas en esponjas.

CELENTÉREOS

Mientras que, hasta el siglo XVII, se creyó que los *celentéreos* constituían un mundo intermedio entre los animales y los vegetales, en la actualidad se sabe que representan los animales más elementales con tejidos diferenciados. Todos son acuáticos y la mayoría marinos. Se distinguen dos tipos : los *pólipos*, tubuliformes, con el extremo superior abierto y rodeados de tentáculos, que forman generalmente colonias, y las *medusas*, que viven en las aguas pelágicas y están dotadas de una especie de sombrilla gelatinosa de la que cuelgan los tentáculos.

Este phylum contiene seres de variado tamaño, que van desde los hidroideos individuales, de dimensiones microscópicas, hasta los coloniales, que pueden alcanzar dos metros de diámetro. Las colonias coralíferas forman aglomeraciones en los mares tropicales que pueden extenderse por centenares de kilómetros.

Los celentéreos tienen una simetría radiada alrededor de un eje heteropolar, carecen de segmentos, son acéfalos y de esqueleto córneo o calcáreo, cuando éste existe. Se diferencian fundamentalmente de los espongiarios al poseer una cavidad digestiva y tejidos. En relación con la reproducción, son generalmente dioicos, tienen una fase sexual y otra por gemación, y algunos presentan *metagénesis* o alternancia de generaciones.

Celentéreos : 1. Hydra de agua dulce ; 2. Fisálido ; 3. Beroe ; 4. Medusa ; 5. Coral rojo ; 6. Anémona de mar ; 7. Gorgonia.



Esquemáticamente los celentéreos pueden dividirse de la siguiente manera :

CLASE	SUBCLASE	ORDEN
Hidrozoos		Hidroideos Traquilinos Sifonóforos
Antozoos	Alcyonaria Zoantaria	
Escifozoos		Cubomedusa Discomedusa

Hydra. — La hydra o hidra *(Cl. Hidrozoos, O. Hidroideos)* es un animal sedentario que suele vivir fijo en las aguas claras del fondo de lagos y ríos. Mide de 1 a 3 centímetros y tiene tentáculos alrededor de la boca que pueden ser dos o tres veces más largos que el cuerpo. Se adhiere a la roca por medio de un disco basal, situado en su extremo inferior, en el polo opuesto del cual se encuentra la boca, colocada en un saliente cónico llamado *hipostoma*. Es diblástica, es decir, que tiene paredes con dos capas de células, la *epidermis* y la *gastrodermis*, ésta con funciones digestivas, entre las cuales se halla la *mesoglea*, estructura acelular y gelatinosa. Captura el alimento, previamente descubierto por los tentáculos, disparando los nematocistos sobre la presa. Las células gastrodérmicas inician una actividad enzimática con vistas a la digestión y las materias no asimilables vuelven al exterior por el orificio bucal, que cumple así funciones de ano. La nutrición gaseosa se efectúa por difusión directa hacia las células del oxígeno disuelto en el entorno líquido. La hydra realiza movimientos, que responden a estímulos, mediante complejos sistemas de fibras contráctiles antagónicas que actúan a impulsos de la red nerviosa. Puede también cambiar de localización, desplazando el disco basal, o usar los tentáculos a modo de patas, invirtiendo previamente la posición. La reproducción puede ser agámica, mediante yemas (gemación) que brotan en la mitad del cuerpo, crecen por alargamiento y acaban por crear un nuevo individuo, unido a su progenitor por el *enterón*. La reproducción gámica, propia de individuos dioicos o, menos frecuentemente, monoicos, es más perfecta. Los óvulos maduros, situados en la superficie epidérmica, son fecundados por los espermatozoos, y, realizada la singamia, el huevo sufre varias transformaciones hasta hacer eclosión y dar origen a una nueva hydra, sin pasar por la fase larvaria. La regeneración es muy acentuada en estos seres, tal vez porque los tejidos no son altamente especializados. Gracias a esta propiedad pueden restaurarse grandes porciones traumatizadas del cuerpo.

Anémona. — La anémona *(Cl. Antozoos, SCl. Zoantaria, O. Actiniaria)* suele vivir en aguas poco profundas de los mares cálidos, en cuyos fondos se fija. Es de forma cilíndrica y se adhiere mediante un disco. Tiene una boca rodeada de tentáculos, que comunica con el enterón por medio de la faringe, y un cuerpo dividido en compartimientos de tipo radial por seis pares de septos. En el interior del mismo, la gastrodermis tapiza el enterón, mientras que una epidermis gruesa protege al animal del exterior. Las anémonas se alimentan de peces pequeños, capturados por los tentáculos y digeridos enzimáticamente por el enterón. Se reproducen general-

mente de modo gámico, la mayoría de las especies son sexualmente dioicas y la fecundación se lleva a cabo en el agua del entorno. El cigoto así formado sufre una serie de transformaciones hasta convertirse en una pequeña larva móvil que, más adelante, llega al estado adulto y acaba fijándose en el fondo. Algunas, por escisión, se reproducen de manera mucho más simple.

A este grupo pertenecen los corales, muy abundantes en los mares tropicales, capaces de formar atolones, arrecifes y barreras costeras.

Medusa. — Las medusas *(Cl. Escifozoos, O. Discomedusa)* viven solas o en grupo y son fácilmente reconocibles por la peculiar forma de campana o sombrilla que tienen. El tamaño de las mismas puede variar desde unos 2 centímetros hasta 2 metros de diámetro. El cuerpo cupuliforme está circundado por numerosos tentáculos, con escotaduras dotadas de órganos sensoriales. En el centro de la cavidad se encuentra la boca, rodeada de brazos cintiformes, que comunica con el enterón por medio de la faringe. Se alimentan estos animales de pequeños invertebrados, capturados con los brazos orales, provistos de numerosos nematocistos. La medusa tiene un sistema nervioso reticular y un órgano de equilibrio o *estatocisto*, situado en el canal periférico del borde de la campana. Selecciona el alimento gracias a ciertos elementos quimiorreceptores y posee también un pigmento fotosensible, a modo de mancha ocular. Tanto la respiración como la excreción se efectúan a través de la superficie corporal. La reproducción es gámica, con individuos dioicos.

Filogenia de los celentéreos. — Los celentéreos fósiles del Precámbrico y del Cámbrico carecen de esqueleto. En cambio, los del Ordovícico Inferior presentan ya estructura ósea mostrando así que sólo en este período se fija el carbonato cálcico.

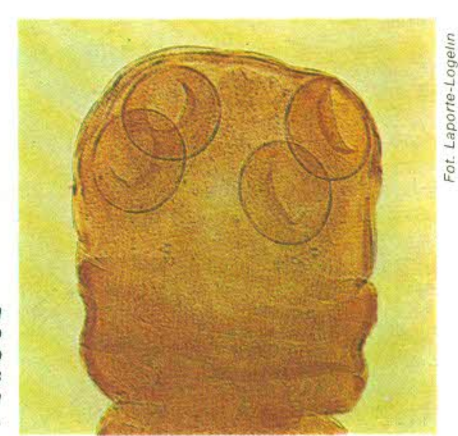
Los antozoos han dejado el mayor número de fósiles conocidos, aunque las medusas están también representadas por huellas de gran perfección anatómica, en las cuales ya puede observarse la simetría tetrámera y la generación alternante.

PLATELMINTOS

Los *platelmintos* son animales con disposición corporal de tipo bipolar constituida por una superficie dorsal y otra ventral. Tienen partes externas e internas que presentan simetría bilateral a lo largo de un plano medio, estructura que, a partir de ellos, aparece ya en los demás animales invertebrados o vertebrados. Carecen de cavidad corporal y los órganos internos se alojan en una masa conjuntivo-mesenquimática, lo cual hace que tengan un cuerpo delgado, blando y plano, que evidencia una superioridad manifiesta en relación con los espongiarios y celentéreos. Poseen tres capas germinales (triblásticos), un tubo digestivo muy ramificado y sin ano y carecen de sistemas respiratorio, circulatorio y esquelético. Desde el punto de vista sexual, son animales monoicos, con intrafecundación. El tamaño oscila entre varias micras y unos 50 centímetros de longitud. Apenas se conocen fósiles de estos invertebrados, debido a sus estructuras blandas y carentes de mineralización.

Esquemáticamente pueden dividirse en *trematodos*, *cestodos* y *turbelarios*.

Fasciola hepática. — La fasciola hepática *(Cl. Trematodos, O. Digenea)* es un parásito de los conductos biliares de los vacunos y ovinos, así como del hombre, aunque mucho menos frecuentemente. Tiene un cuerpo que adopta la forma de una hoja lanceolada, de mayor


Fot. Laporte-Logelin

Escólex de una tenia con cuatro ventosas o ganchos destinados a la fijación.

anchura por el polo anterior, con dos ventosas, una peribucal y otra de fijación en la parte posterior. Posee un aparato digestivo muy subdividido y un neurosistema de doble ganglio, con un par de cordones nerviosos dispuestos longitudinalmente. El aparato reproductor femenino de estos seres monoicos consta de un ovario multirramificado a donde llegan los ovocitos. Los huevos fecundados salen al exterior, mezclados con las heces, y esto constituye la fase intermedia del ciclo fasciolar. Luego, cuando un cordero o una vaca se alimenta con plantas verdes en las que se encuentran larvas de fasciolas, éstas acceden por vía intestinal al hígado del animal y de allí pasan a los conductos biliares.

Tenia solium. — La tenia *(Cl. Cestodos, O. Tenoidea)* es un parásito del aparato digestivo del hombre cuando éste consume carne de cerdo o de buey que no están en buenas condiciones sanitarias. Consta de numerosos segmentos o *proglotis*, distinguiéndose la cabeza o *escólex*, provista de ganchos o ventosas para la fijación. Cada anillo está dotado de órganos reproductores, músculos y conductos excretores. Al ser monoica, se realiza en ella la autofecundación; los huevos son expulsados con las heces y el desarrollo prosigue en el suelo. Cuando estos huevos son ingeridos por el cerdo, se eliminan las cubiertas y las larvas se alojan en los músculos del animal, en forma de *cisticercos*. Si el hombre consume esta carne, el escólex inicial se fija en su intestino y empieza la formación de proglotis, pudiendo alcanzar la tenia una longitud de más de cuatro metros. Ésta no necesita aparato digestivo ni respiratorio, ya que toma el oxígeno por vía aerobia o anaerobia, y absorbe gran cantidad de los alimentos ingeridos por el llamado huésped.

Euplanaria. — Los turbelarios son animales de vida libre que viven generalmente en agua dulce. De entre ellos, la euplanaria *(Cl. Turbelarios, O. Dicladida)* se distingue por su cuerpo blando y plano, cubierto por epidermis de células cuboides, con la parte ventral provista de cilios para poder desplazarse. Posee una boca central, situada en la parte inferior y toma el alimento por una faringe. Por difusión, absorbe el oxígeno y expele los gases tóxicos; para completar la digestión cuenta con un intestino multirramificado. Carece de aparato respiratorio y de estructura esquelética. El sistema nervioso está constituido por un par de ganglios cerebroides, localizados en la región anterior, y dos cordones nerviosos interconectados. Desde el punto de vista sexual, las euplanarias son monoicas, con aparatos genitales masculino y femenino bien diferenciados en los que tiene lugar la autofecundación. La reproducción puede efectuarse también de manera agámica, generalmente por escisión transversal.

NEMATELMINTOS

(asquelmintos)

Los *nematelmintos* carecen de cavidad celomática, lo mismo que los platelmintos. Son de cuerpo cilíndrico, triblástico, con simetría bilateral y acusado dimorfismo sexual. Poseen un tubo digestivo completo, una cavidad corporal del tipo seudocele y una pared muscular con haces longitudinales. No tienen aparatos circulatorio ni respiratorio. Los fósiles de este grupo son muy escasos y se han encontrado solamente algunos en ámbar del Oligoceno. La clasificación sistemática de este phylum es algo discutida. Actualmente se tiende a incluir los nematodos en el phylum de los asquelmintos, aunque para ciertos especialistas pertenezcan a un grupo independiente.

Los nematelmintos abarcan variados grupos de animales, microscópicos la mayoría de ellos y filiformes todos, con cavidad corporal del tipo seudocele. Se hará sólo el estudio de los *nematodos*, pero en algunos libros más especializados se incluyen también las clases de *nematomorfos* y *acantocéfalos*. Los nematodos, de amplia difusión en la Naturaleza, representan el grupo que numéricamente sigue al de los insectos. De un tamaño que oscila entre cifras microscópicas y un metro, viven en los ambientes más dispares, como raíces de plantas, semillas de algunos cereales, sangre de ciertos animales, etc.

Ascaris lumbricoides. — Los ascaris *(Cl. Nematodos, O. Rhabditida)* son lombrices parásitas del hombre con un cuerpo alargado cubierto de una cutícula flexible y con una subepidermis muscular. Presentan acentuado dimorfismo sexual, ya que el tamaño de los machos puede ser de unos 20 centímetros de longitud, mientras que las hembras alcanzan unos 30. El aparato digestivo consta fundamentalmente de boca, faringe, intestino y ano. No tienen aparatos respiratorio ni circulatorio por ser parásitos; en cambio, estos animales están provistos de un arco nervioso cerrado. Son dioicos y cada sexo posee las correspondientes gónadas : ovario, oviducto y útero, en las hembras; testículos, vaso deferente, vesícula seminal y conducto eyaculador, en los machos. Son parásitos intestinales del hombre y del cerdo. Los huevos fecundados salen al exterior con las heces, se depositan en la hierba o en las verduras y, al ser ingeridos, las larvas llegan al intestino e invaden la sangre y la linfa durante su maduración, para volver, cuando son adultas, a fijarse en el intestino, donde terminan su desarrollo. Cuando la parasitosis es muy intensa en el hombre, éste puede sufrir intoxicación y llegar a debilitarse. La existencia de estas lombrices se observa fácilmente en las heces.

Triquina. — La triquina *(Cl. Nematodos, O. Oenoplida)* es otro parásito del hombre que se fija en éste por la ingestión de carne de cerdo infestada. El macho puede medir 1,5 milímetros y la hembra alcanza a veces los 3,5 milímetros. Las larvas de las hembras se asientan en la mucosa intestinal, desde donde penetran en el sistema linfático y circulatorio, hasta que llegan a enquistarse en los músculos estriados del que las ha ingerido. Éste se infesta normalmente con larvas de triquina al comer carne de cerdo, que no ha sido sometida a un adecuado proceso de cocción, y puede sufrir graves trastornos (triquinosis) e, incluso, encontrar la muerte, sobre todo si el parásito se enquista en las vísceras vitales.

Otros nematodos. — Se pueden mencionar algunas otras especies de este grupo, muy conocidas por tratarse de parásitos del hombre y de diversos animales.

El *Oxyurus vermicularis* o lombriz de los niños, de longitud no mayor de un centímetro, suele vivir en el intestino, particularmente en el ciego. Las hembras ponen los huevos en la región perianal, los cuales, al moverse, producen un intenso prurito. Cuando el paciente se rasca, se depositan en los dedos y más tarde pueden ser ingeridos y asentarse en el duodeno, donde se liberan las larvas, que se fijan en el colon hasta llegar a la madurez sexual.

Los *filaroideos*, de cuerpo filiforme y muy alargado, viven en los vasos linfáticos del hombre y causan la enfermedad llamada *elefantiasis*, endémica en algunas regiones cálidas; ésta se manifiesta en forma de hinchazones en las extremidades llegando a veces a deformarlas de manera casi monstruosa.

Finalmente, el *anquilostoma duodenal*, muy difundido en regiones tropicales y subtropicales, tiene un ciclo similar a los anteriores y acaba fijándose en el duodeno, donde alcanza la madurez sexual. Las migraciones de las larvas causan procesos inflamatorios localizados en los intestinos y pulmones, al mismo tiempo que el individuo afectado sufre hemorragias, infecciones y un estado de anemia general.

ano
armazón calcáreo o caparazón
zona de ambulacros
boca
aspecto natural
erizo
carente de púas
crinoideo
ofiuro
estrella de mar
holoturia

EQUINODERMOS

EQUINODERMOS

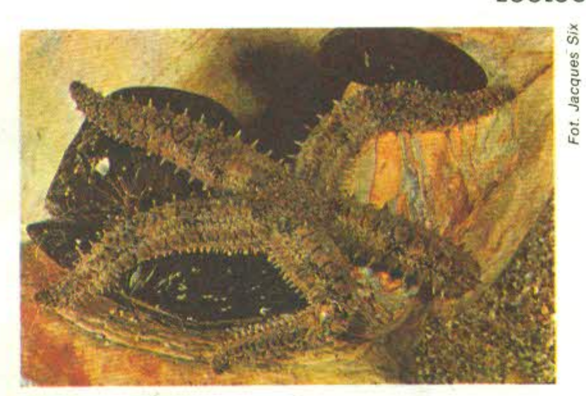
Los *equinodermos* son animales de vida libre, dotados de endoesqueleto, que se hallan generalmente en las zonas litorales, salvo algunos lirios de mar. Poseen en estado larvario simetría bilateral que, al llegar a la edad adulta, se transforma en radial e incluso en pentarradiada. Carecen de cabeza y de segmentos, pero son

triblásticos y celomados. Están provistos de un endoesqueleto compuesto de placas calcáreas, fijas o móviles, un aparato digestivo simple y un sistema circulatorio radial. Sexualmente son seres monoicos cuya fecundación se hace normalmente en el mar. Tienen elevada capacidad de regeneración.

Se han encontrado equinodermos fósiles procedentes del Cámbrico, con larvas de simetría bilateral y vida libre, lo que ha hecho que algunos zoólogos y paleontólogos consideren a los actuales como formas regresivas de seres más evolucionados.

Esquemáticamente este phylum se divide en *asteroideos, ofiuroideos, equinoideos, holoturoideos* y *crinoideos.*

Estrella de mar. — La estrella de mar *(Cl. Asteroideos, O. Forcipulata)* tiene una estructura característica compuesta por un disco central del que arrancan cinco brazos triangulares; la boca se halla en la parte inferior u oral y le sirve de apoyo; el cuerpo está protegido por una epidermis ciliada y, bajo ésta, se encuentran el mesodermo y un armazón calcáreo o endoesqueleto; la cavidad celomática está cubierta por un epitelio, también ciliado, y dentro de ella hay un líquido cuya función es facilitar la circulación, la respiración y la excreción. El ano está situado en la cara superior o aboral. Cada brazo posee un surco ambulacral y, en su extremo, un tentáculo táctil. Tanto el sistema circulatorio como los cordones nerviosos adoptan una distribución circular y radial. Estos animales suelen fijarse en las costas rocosas y se alimentan preferentemente de moluscos (mejillones), capturados con ayuda de los pies ambulacrales prensores, que están dotados de ventosa y vesícula, y asimilados por digestión externa, lo cual representa un caso poco frecuente en este reino. Desde el punto de vista sexual, son dioicos y realizan la fecundación en el entorno marino, llegando el huevo al estado adulto mediante una serie de metamorfosis. Tienen una extraordinaria y notable capacidad de regeneración, de tal manera que, si se desprende de modo accidental o incluso espontáneo *(autotomía)* un brazo, basta con que otro y el disco central sigan intactos para que se regenere una nueva estrella de mar.



Fot. Jacques Six

Estrella de mar fijada encima de mejillones.

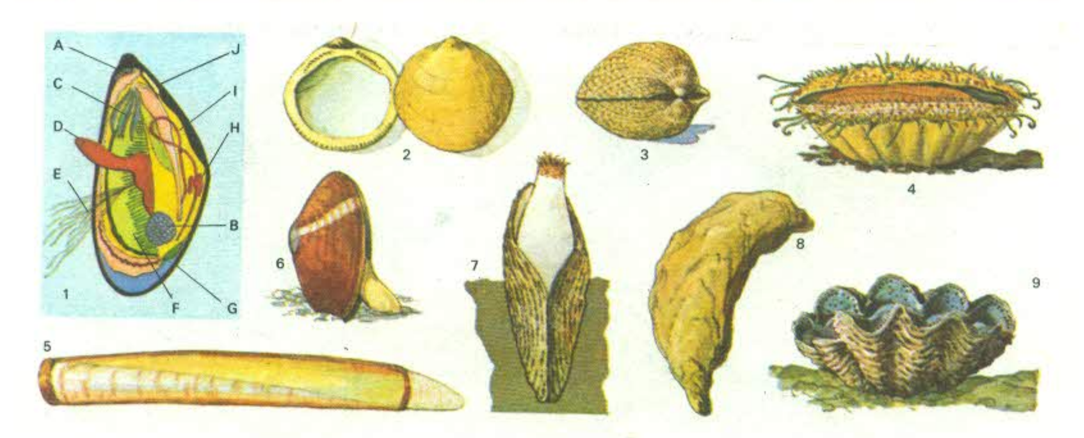
MOLUSCOS

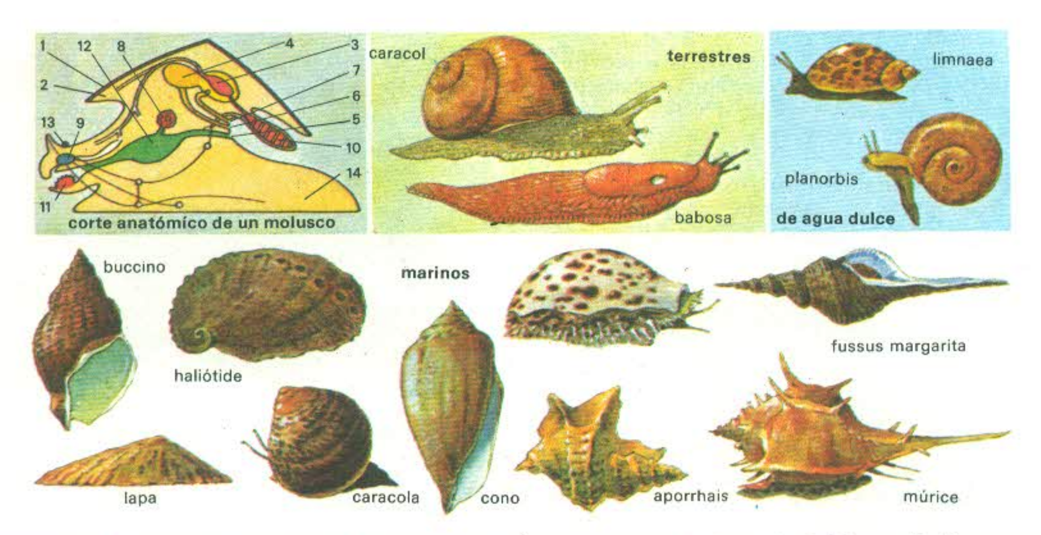
Los *moluscos* se hallan profusamente distribuidos tanto en las aguas costeras como en las abisales (incluso a 9000 m de profundidad), donde viven libres, salvo algunas excepciones. Poseen simetría bilateral y son triblásticos. El cuerpo se encuentra dentro de un manto dorsal, secretor de una concha; ésta puede ser interna o externa y de un elemento *(univalvos)* o de dos *(bivalvos).* El pie, situado en la parte ventral, es reptante, horadante o natatorio. El aparato circulatorio está formado por un corazón, con un solo ventrículo y una o dos aurículas, así como por una red arterial y venosa. La respiración es branquial, pulmonar o cutánea, y el aparato digestivo es completo, con una boca y un sistema de glándulas salivares y hepáticas. La excreción se lleva a cabo a través de los nefridios. El sistema nervioso es de tipo ganglionar. La reproducción es sexual y la mayoría de las especies son dioicas. Las larvas sufren un proceso de transformación hasta llegar a un estado más avanzado llamado *veliger.* Aunque la mayor parte de estos animales son marinos, los hay también de agua dulce y terrestres, estos últimos generalmente univalvos.

Los elementos corporales mineralizados han facilitado la fosilización y por ello se conoce muy bien la filogenia de los moluscos a partir del Paleozoico Inferior (Cámbrico e incluso Precámbrico). Muchas de esas formas han desaparecido y algunas se encuentran en período de regresión. Otras, en cambio, han sabido adaptarse a los tiempos actuales y han probado sobradamente su capacidad de evolución continuada.

Los moluscos se dividen en *gasterópodos* (univalvos), *pelecípodos* o *lamelibranquios* (bivalvos) y *cefalópodos.*

Moluscos bivalvos : 1. Diferentes partes de un mejillón (A. Músculo anterior; B. Músculo posterior; C. Palpos labiales; D. Pie; E. Biso; F. Branquias; G. Borde del manto; H. Corazón; I. Intestino; J. Ligamento); 2. Pechina; 3. Berberecho; 4. Venera; 5. Navaja; 6. Coquina; 7. Pholas; 8. Ostra; 9. Tridacna.





Gasterópodos : 1. Concha ; 2. Manto ; 3. Corazón ; 4. Órgano genital ; 5. Ano ; 6. Oviducto ; 7. Poro excretor ; 8. Hígado ; 9. Ganglio cerebral ; 10. Branquia ; 11. Rádula u órgano masticador ; 12. Intestino ; 13. Ojo ; 14. Pie.

Caracol de huerta. — Los gasterópodos constituyen la clase numéricamente más amplia, y, dentro de ésta, el caracol de huerta *(Cl. Gasterópodos, SCl. Pulmonata)* es uno de los prototipos. Éste tiene un cuerpo asimétrico, con cabeza diferenciada y pie formado por una abundante masa muscular. La primera está dotada de dos pares de tentáculos retráctiles y de ojos situados en el par superior. Una abundante secreción mucosa facilita el desplazamiento del animal, que se caracteriza principalmente por la concha de carbonato cálcico, de forma cónica y arrollada en espiral, que nace sobre el pie. Una fina cubierta segregada por aquélla recibe el nombre de *manto* y circunda las vísceras. En caso de amenaza exterior o de circunstancias ambientales negativas, el caracol puede retraerse hasta introducir todo el cuerpo dentro de la concha, gracias a la existencia de un músculo denominado *columnelar.* Los aparatos circulatorio y respiratorio constan de un pulmón ampliamente vascularizado, donde entra el aire a través del poro respiratorio. Así se oxigena la sangre, que sale luego impulsada por el corazón, provisto de aurícula y ventrículo; a través de las arterias, la sangre llega hasta el pie, las vísceras y la cabeza. En ésta se encuentra un par de ganglios nerviosos que, junto a los situados en la boca, las vísceras y el pie, constituye el sistema nervioso, completado a su vez por un sistema sensorial, distribuido por todo el cuerpo y basado en los órganos de la vista, del equilibrio (estatocistos), olfatório-gustativo y táctil. El aparato digestivo consta de boca, faringe, esófago, buche, con dos glándulas salivares, estómago, intestino y ano. Existe también un hígado y el aparato excretor cuenta con un riñón localizado en la zona pericardiaca. La reproducción de estos animales es sexual. Se producen los óvulos y espermatozoides en la parte superior de la concha y descienden por un conducto hermafrodita dotado de oviducto y de canal deferente. La fecundación se realiza por apareamiento de dos individuos, depositándose los huevos fértiles en hoyos pequeños, situados en sitios húmedos; tras un largo período de desarrollo, saldrán del huevo pequeños caracoles.

Mejillón. — El mejillón *(Cl. Pelecípodos, O. Filobranquios)* es un molusco bivalvo cuyas conchas presentan entrantes y salientes en charnela que facilitan la apertura y el cierre, realizados ambos gracias a la existencia de ligamentos y músculos. La concha de carbonato cálcico está revestida interiormente de nácar y exteriormente de una cutícula coloreada. Está soldada con el manto en la

Cefalópodos : 1. Pulpo ; 2. Calamar ; 3. Jibia ; 4. Argonauta ; 5. Nautilo.



llamada *cavidad paleal*, donde se encuentran unas branquias laminares, un pie en forma de hacha y dos tubos o sifones para la entrada y salida del agua. El mejillón se fija a las rocas mediante filamentos gelatinosos llamados *bisos*, que parten de la base del pie. Casi todo lo afirmado acerca del caracol es aplicable a los pelecípodos. Sin embargo, hay que señalar el mecanismo de defensa de que disponen ciertos bivalvos (la ostra perlera) cuando en el interior penetra un cuerpo extraño. Este fenómeno, que se produce preferentemente en los mares cálidos, consiste en la formación de una concreción periférica de nácar fino, llamada *perla*, de gran valor en joyería.

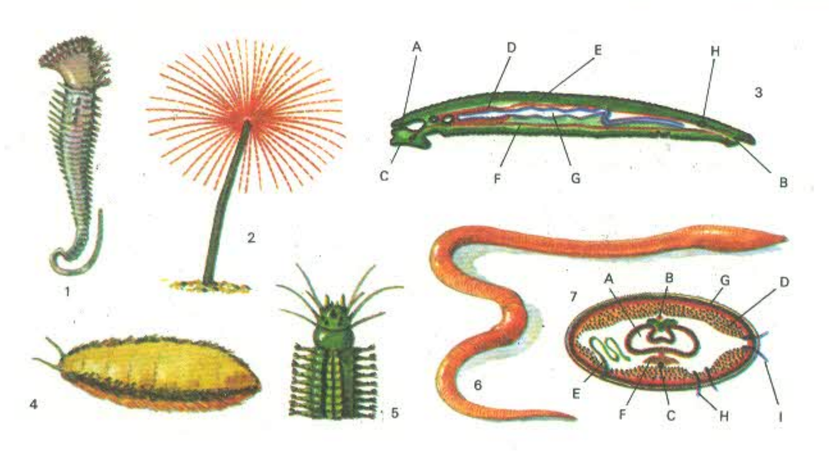
Calamar. — Los cefalópodos son moluscos desprovistos de concha, con la cabeza circundada de brazos y dotada de un par de ojos laterales muy desarrollados. A este grupo pertenecen los calamares comunes *(Cl. Cefalópodos, SCl. Dibranquios, O. Octópodos)*, muy apreciados por su carne, que se caracterizan por tener dos largos brazos prensiles y fijadores y otros ocho más cortos, provistos todos de ventosas capaces de sujetar y paralizar a la presa para devorarla luego por medio de maxilas. En la masa visceral, además de las branquias y del aparato digestivo, se encuentra la *bolsa de la tinta*, que contiene una sustancia oscura y espesa, muy soluble en el agua, empleada como instrumento de defensa para huir del atacante ocultándose tras la oscuridad provocada. El agua expelida con vigor por el sifón de la cavidad paleal actúa como fuerza reactora e imprime gran velocidad al movimiento. En la zona dorsal del espesor del manto, el calamar tiene una concreción calizo-esponjosa, vestigio, sin duda, de la concha desarrollada que estos moluscos poseyeron en el Mesozoico. Suele vivir en los fondos arenosos marinos, donde se disimula a menudo gracias a sus cambios de color; allí caza sus presas, esencialmente peces y crustáceos, con los brazos prensores. Se reproduce poniendo huevos, a veces de forma agrupada parecida a racimos.

ANÉLIDOS

Este phylum presenta grandes afinidades con otros parecidos, particularmente con los artrópodos, al tener forma cilíndrica y estructura de anillos o *somitas* en disposición metamérica. Los *anélidos* suelen vivir en los suelos húmedos de las regiones costeras o en agua dulce. Se dividen en especies *tubícolas*, *comensales* y *parásitas* y tienen un tamaño muy variable, que va de un milímetro a dos metros, como en el caso de algunas lombrices tropicales. De cuerpo externamente húmedo, que se mueve por medio de capas musculares, son triblásticos, con celoma (excepto las sanguijuelas) y de simetría bilateral. Poseen un aparato digestivo completo y la excreción se realiza mediante nefridios. La respiración es cutánea, la circulación cerrada y el sistema nervioso de tipo ganglionar. La reproducción es generalmente sexual, aunque algunas especies se multipliquen por gemación.

Son excepcionalmente escasos los fósiles de estos gusanos, lo cual se explica por la carencia de formas esqueléticas. Se han encontrado algunos antiguos ejemplares del Precámbrico australiano y del Cámbrico canadiense y también otros restos más recientes del Jurásico y Cretácico, como piezas mandibulares y tubos, que completan el conocimiento que se tiene actualmente acerca de la filogenia de los anélidos, phylum que comprende las clases de los *oligoquetos*, *poliquetos* e *hirudíneos*.

Lombriz de tierra. — El nombre de la clase, oligoquetos, indica que las lombrices de tierra *(Cl. Oligoquetos, F. Limbrícidos)* tienen pocas espinas. Estos gusanos son de gran importancia en la agricultura por tener un régimen alimenticio micrófago y contribuir a la eliminación de los residuos que se encuentran en el suelo, aireando al mismo tiempo la tierra y enriqueciéndola con las secreciones. Son de forma cilíndrica, alargada y agudizada en los extremos, sin cabeza diferenciada. El cuerpo aparece claramente segmentado con un abultamiento en el último tercio, que recibe el nombre de *clitelio* y en donde se alojan los huevos de forma capsular. La superficie exterior está formada por una epidermis epitelial, con glándulas secretoras de *mucus*. Al hacer un corte longitudinal, se observa que la lombriz se presenta como dos tubos concéntricos, que corresponden al celoma o cavidad corporal envuelta en la pared corporal. El aparato digestivo es completo y la respiración, cutánea, se verifica a través del mucus periférico. El oxígeno captado se distribuye en la sangre por un sistema circulatorio cerrado. La estructura nerviosa es ganglionar, constituida básicamente por dos ganglios cerebrales y un cordón nervioso ventral que recorre todo el cuerpo formando en cada somita un ganglio local, subdividido en nervios laterales. No existe formación esquelética alguna; solamente unos tabiques o *septos* separan los distintos somitas. Sexualmente estos animales son monoicos; las gónadas femeninas están localizadas a la altura del segmento número 13 y los testículos en los segmentos 10 y 11. Tienen una gran capacidad regeneradora, que les permite restaurar con gran rapidez las porciones traumatizadas.



ANÉLIDOS
1. Hermella.
2. Spirographis.
3. Sanguijuela : A. Ano; B. Ventosa bucal; C. Ventosa posterior; D. Bolsa sanguínea; E. Vaso dorsal; F. Vaso ventral; G. Intestino; H. Corazón.
4. Aphrodite. 5. Nereido (cabeza). 6. Lombriz.
7. Corte transversal de una lombriz : A. Intestino; B. Vaso dorsal; C. Vaso ventral; D. Músculo; E. Nefridio; F. Cadena nerviosa ventral; G. Tejido cutáneo; H. Seda o queta ventral; I. Seda lateral.

Sanguijuela. — La sanguijela *(Hirudo medicinalis)* pertenece a la clase de los hirudíneos y tiene un tamaño de 10 a 15 centímetros en extensión. La cubierta exterior consiste en anillos superficiales. La cabeza, poco diferenciada, está provista de ojos rudimentarios, pero posee, en cambio, dos ventosas de fijación y una trompa para perforar los tejidos del huésped en que se ha instalado. El estómago consta de once pares de ciegos gástricos, lo que le permite ingerir de una sola vez una cantidad de sangre equivalente a ocho veces su propio peso. El aparato excretor se basa en la existencia de 17 pares de nefridios, que comunican con la vejiga urinaria. Una cadena nerviosa central recorre el cuerpo, con 21 pares de ganglios relacionados con los ganglios cerebroides mediante un collar periesofágico. Los órganos genitales son hermafroditas, con dos ovarios y nueve pares de testículos. Los huevos son puestos en el interior de un capullo donde posteriormente se desarrollan. La sanguijuela es propia de las aguas dulces en Europa y, hasta hace poco tiempo, se empleaba profusamente en Medicina para sangrar a los pacientes.

Artrópodos

Los *artrópodos* son animales invertebrados, anillados, provistos de apéndices articulados (de donde procede el nombre que llevan), celomados y con exoesqueleto quitinoso. Del número de especies conocidas del reino animal, que consta de algo más de un millón, unas 800 mil pertenecen a este subgrupo, y, entre las diversas clases que éste contiene, una sola, la de los insectos, sobrepasa numéricamente al conjunto de los demás animales. Los artrópodos se encuentran en todos los ambientes, desde las profundidades marinas hasta las cimas montañosas. Pueden ser dulceacuícolas, marinos, terrestres, cavícolas, limícolas, aéreos o parásitos de animales y vegetales; algunos viven aislados y otros constituyen colonias sociales. Resulta, por lo tanto, evidente que la variedad y la ubicuidad son características muy importantes de este phylum, que puede dividirse de la siguiente manera :

SUBPHYLUM	CLASE	SUBCLASE	ORDEN
Onicóforos			
Mandibulados	Crustáceos	Entomostráceos	
		Malacostráceos	Decápodos
	Insectos	Apterigógenos	
		Pterigógenos	
	Miriápodos	Quilópodos	Scolopendra
		Diplópodos	Juliformia
Quelicerados	Merostomas	Xifosuros	
	Arácnidos		Aracnoideos
			Escorpioideos
			Acarinos

Características generales. — El cuerpo de los artrópodos se halla metamerizado, es decir, con mesodermo dividido en metámeros o segmentos, aunque éstos no son idénticos entre sí, sino que se agrupan en regiones, por lo que se dice que tienen metamería heterónoma. La cubierta está revestida de una cutícula quitinosa y cada segmento está provisto de apéndices articulados.

El aparato circulatorio lagunar es muy simple, con un corazón dorsal dotado de orificios, mientras que la excreción se realiza por un sistema de nefridios. El sistema nervioso presenta similitud con el de los anélidos, con un cordón ganglionar ventral y varios ganglios supraesofágicos. Los órganos de los sentidos alcanzan en estos animales notable complejidad y perfección. El sistema muscular está constituido básicamente por fibras estriadas.

La reproducción se efectúa por medio de huevos, generalmente centrolecitos, que tienen segmentación parcial o desigual. El desarrollo posterior se realiza por metamorfosis y en el curso del crecimiento aparecen cambios bruscos en la cutícula quitinosa, que se desprende y es sustituida por una nueva *(muda)*. El tamaño de los artrópodos puede variar desde valores microscópicos (ácaros) hasta más de un metro y medio (crustáceos decápodos).

En relación con la filogenia de este subgrupo, se tienen exactos conocimientos de la antigüedad de algunas especies, como los trilobites, que datan del Cámbrico.

ONICÓFOROS

Los *onicóforos* representan un subtipo que abarca los animales que tienen cutícula delgada y blanda, tráqueas respiratorias, patas terminadas en garras y pelos sensoriales. Poseen también muchos caracteres de los anélidos, tales como apéndices cortos y no segmentados, capa muscular continua y nefridios metamerizados, por lo que puede decirse que son artrópodos imperfectos. Están dotados de un aparato circulatorio, que recuerda bastante al de los insectos, con un corazón, constituido por un vaso dorsal de curso longitudinal, cuyas paredes presentan numerosos ostiolos, o aberturas, provistos de válvulas. Viven sobre todo en los lugares húmedos, a orillas de los ríos, bajo las piedras y los árboles derribados. Caminan de modo muy lento, con un movimiento similar al de las sanguijuelas. Se alimentan esencialmente de los insectos que capturan, gracias a una sustancia viscosa segregada por glándulas especiales. Se encuentran en todas las regiones del mundo, salvo en la zona templada del Norte. En el hemisferio austral se conocen unas cincuenta especies, entre ellas los *peripátidos*, semejantes a los gusanos.

MANDIBULADOS

Los artrópodos *mandibulados* se distinguen por tener mandíbulas muy quitinizadas, duras y cortantes, situadas debajo del labro y dispuestas de modo opuesto en el

mismo plano horizontal. Éstas presentan a veces algunas modificaciones, como ocurre en los insectos cavadores o en el ciervo volante.

Crustáceos

Los *crustáceos* son artrópodos mandibulados, con exoesqueleto o caparazón de consistencia caliza, cefalotórax y abdomen. Poseen dos pares de antenas y cinco pares de patas; tienen respiración branquial y sufren varias mudas durante la vida. Suelen ser animales de vida libre, a veces parásitos de otros seres acuáticos. Algunos son comensales y otros sedentarios, como el percebe. Se ha desarrollado la pesca de crustáceos por su interés gastronómico y se obtienen hoy por medio de criaderos industriales situados en las costas más idóneas.

Los crustáceos se dividen en dos subclases : los *entomostráceos* y los *malacostráceos*. Estos últimos están constituidos por el orden de los *decápodos*, que consta de los subórdenes de *macruros* y *braquiuros*.

Cangrejo de río. — La principal característica del cangrejo de río *(SCl. Malacostráceos, O. Decápodos, SO. Macruros)* es el apéndice o punta cefálica triangular, cuya forma y dimensión varían según las especies. El primer anillo abdominal está provisto de apéndices copuladores en los machos, mientras que el último anillo del tórax es móvil. El primer par de patas posee unas pinzas convexas y robustas. El telson o último segmento es mucho más delgado en los machos que en las hembras. Éstas llevan los huevos adheridos al abdomen y verifican la puesta durante el otoño.

Estos animales viven, sobre todo, en los riachuelos de las regiones calcáreas y, de día, se esconden en los hoyos o debajo de las piedras; avanzan lentamente por el fondo o nadan hacia atrás rápidamente y por sacudidas; llegado el invierno, permanecen en grutas o nidos que ellos mismos excavan. Se alimentan de manera variada con caracoles, renacuajos, pececillos, gusanos y tallitos de raíces jóvenes. Sufren de seis a ocho mudas durante el primer año y, ya de adultos, sólo una en otoño. En el momento de este proceso se ocultan, porque se encuentran indefensos. Tiene particular importancia la composición del agua del entorno, que ha de ser rica en sales cálcicas para que se forme mejor el caparazón.

Son zonas cangrejeras importantes las aguas salobres del Mar Caspio, los mares del Japón, donde se cría el *Astacus japonicus*, y los ríos del continente americano, en los que viven numerosas especies del género llamado *Cambarus*.

Bogavante y otros crustáceos. — Por la importancia que revisten se reseñan brevemente algunas especies comestibles de crustáceos.

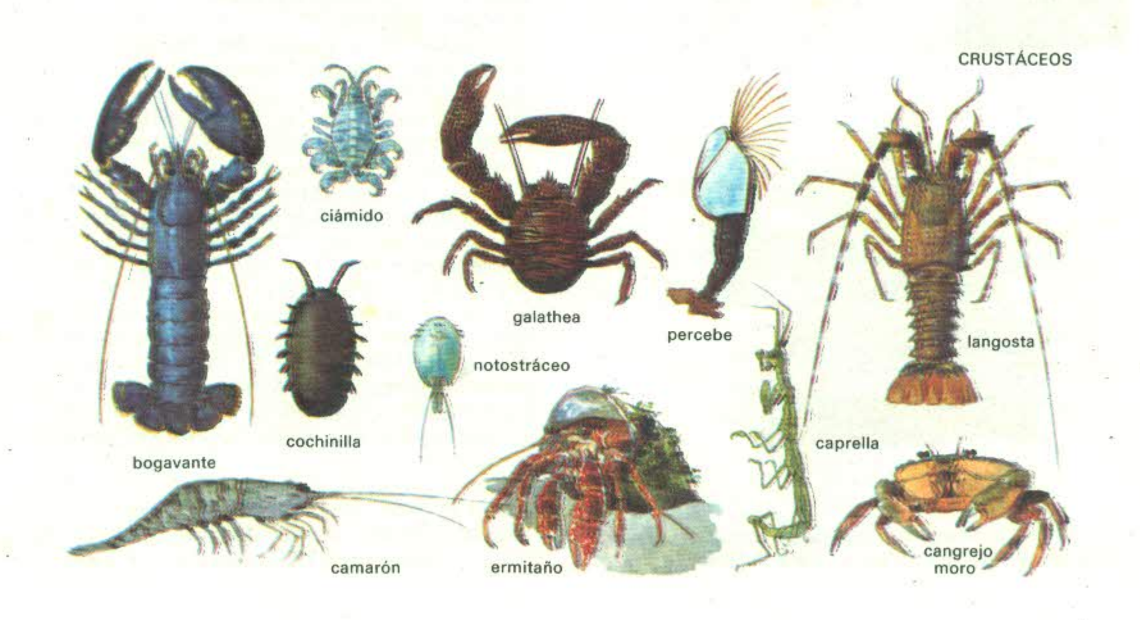
El bogavante *(Homarus vulgaris)*, decápodo macruro de cuerpo comprimido y coloración violácea, puede alcanzar unos 50 centímetros de longitud y es propio del hemisferio norte. Se conoce también una especie americana cuyo tamaño es casi dos veces mayor.

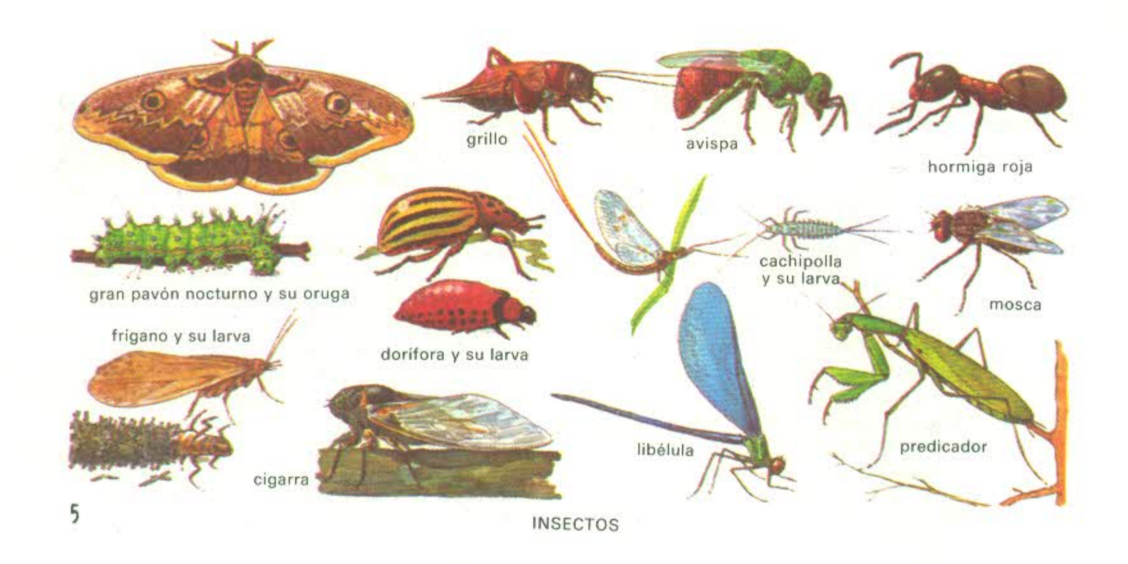
La langosta *(Palinurus vulgaris)* difiere esencialmente del bogavante por las largas antenas, espinosas en la base, que posee y porque su primer par de patas carece de pinzas. Se encuentra sobre todo en las aguas mediterráneas y atlánticas y tiene una carne sumamente apreciada. Las del Atlántico son de calidad algo inferior y, para mejorarlas, se colocan durante cierto período de tiempo en viveros acondicionados del Mediterráneo. Existen también algunas especies en las costas americanas del Pacífico.

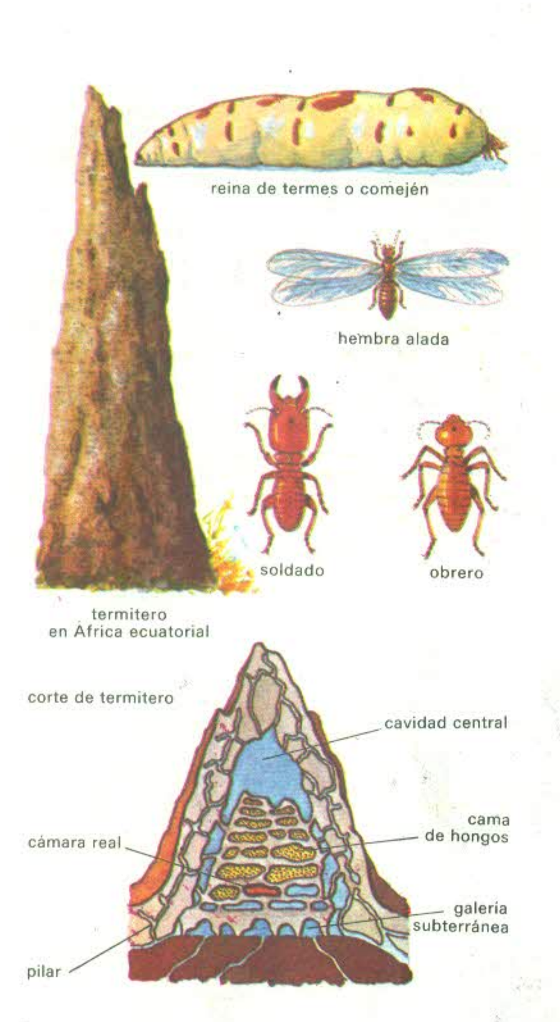
El langostino corresponde a diversas especies del género de los *peneidos*. Se distingue por el cuerpo aplastado y la cola prolongada, un caparazón poco resistente, una coloración azul rosada y un tamaño medio de unos 12 centímetros. Los ejemplares de mayor longitud son las hembras. Éstas depositan los huevos en el mar, los cuales pasan por diez fases larvarias, hasta que alcanzan los estuarios, donde se desarrollan para volver luego mar adentro.

Otro decápodo análogo al anterior, pero de menor tamaño, es la gamba *(Parapenaeus longirostris)*, abundante tanto en el Atlántico como en el Mediterráneo. La cigala *(Nephrops norvegicus)* tiene en cambio el cuerpo más ancho y aplanado, con pinzas muy desarrolladas.

El centollo *(Maia squinado)*, llamado centolla o cámbaro en América, es un decápodo braquiuro de cuerpo ovalado, con un caparazón cubierto de tubérculos ganchudos y pelos. Las patas son largas, delgadas, fuertes y vellosas, terminadas por pinzas en el primer par. El abdomen de los machos es triangular y el de las hembras es muy ancho. Vive en el Atlántico y en el Mediterráneo.







Los termes forman colonias y construyen nidos de muy diversas formas que pueden alcanzar seis metros de altura.

Insectos

La amplia variedad que presenta el mundo de los *insectos* ha dado origen a la *Entomología*, rama de la Zoología estudiada desde hace varios siglos por numerosos especialistas que han contribuido de esta manera al desarrollo de la Biología y ciencias afines.

Los insectos son una clase de artrópodos traqueados, con tres pares de patas y un solo par de antenas. La cabeza se diferencia claramente del tórax, formado por tres anillos con un par de patas cada uno. El abdomen consta de un número variable de anillos y, a veces, de apéndices, que cumplen una misión de defensa o de reproducción.

Además de las antenas, en la cabeza se encuentran tres pares de piezas bucales (mandíbulas, maxilas y palpos) y, en algunos casos, ojos compuestos llamados *ocelos*. El sistema respiratorio es traqueal y el circulatorio es abierto, con un solo vaso situado dorsalmente, en el que la sangre discurre por la cavidad visceral entre unas lagunas del cuerpo. El aparato digestivo está constituido por una faringe musculosa y aspiradora, propia de los insectos chupadores y picadores, un esófago, con buche o sin él, en el que se acumulan las sustancias alimenticias, una molleja de dientes quitinosos que realiza la función de filtro más que la de trituradora, un estómago glandular y, por último, un intestino delgado o recto. El sistema nervioso de los insectos, al igual que el de todos los artrópodos, es ganglionar, pero presenta en ellos notables perfeccionamientos. La reprodución es ovípara.

El tamaño va desde menos de un milímetro, como en el caso de los mosquitos, hasta unos 30 centímetros, habiéndose descubierto algunos fósiles de 70 centímetros del período Carbonífero.

Algunos insectos presentan glándulas venenosas en comunicación con un aguijón que se halla situado en la extremidad del cuerpo. En otros, los últimos segmentos están modificados en forma de pinzas. Muchos de ellos tienen gran sentido de la asociación (abejas, hormigas, termes o comején), repartiéndose el trabajo y las diversas funciones.

Como ya se señaló, los insectos constituyen el mayor grupo de animales. Pueden dividirse en función de la constitución de la boca (masticadora, chupadora, picadora o lamedora) y de las metamorfosis o clasificarse en

apterigógenos (sin alas) y *pterigógenos* (alados), como se indica en el cuadro siguiente :

SUBCLASE	ORDEN
Apterigógenos	Dipluros Colémbolos Tisanuros
Pterigógenos	Ortópteros Dermápteros Isópteros Odonatos Efemerópteros Anopluros Hemípteros Homópteros Neurópteros Lepidópteros Dípteros Sifonápteros Coleópteros Himenópteros

Algunos insectos son dañinos para el hombre y los animales, como es el caso de los piojos, pulgas y moscas transmisoras de enfermedades (tifus, paludismo, fiebre amarilla, enfermedad del sueño, etc.). Otros son nocivos para los bosques o los árboles aislados, distinguiéndose los *xilófagos*, que roen la madera, y los *fitófagos*, que perjudican las hojas, yemas, flores y frutos.

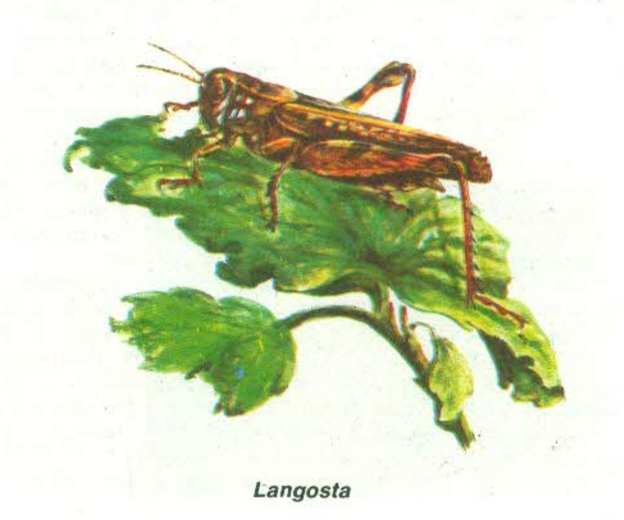
Variaciones anatómicas. — Considerando las diversas maneras de nutrirse que tienen los insectos (carnívoros, saprofitos, fitófagos, hematófagos), se comprende la diferente adaptación estructural de los aparatos digestivos y la variación en la morfología de la boca, que puede ser masticadora, chupadora, picadora o lamedora. La alimentación se relaciona asimismo con los distintos ambientes (aéreo, marino o dulceacuícola), lo que incide en las modalidades respiratorias, aunque éstas son casi siempre traqueales. La misma captura de los alimentos obliga al desplazamiento, el cual puede realizarse mediante patas, adaptadas al salto, carrera o deslizamiento, o alas utilizadas para el vuelo. Los colores de los insectos están también sujetos a variación, aunque es frecuente el mimetismo, es decir, la igualación con el color ambiente para así pasar inadvertidos. Los ojos son muy particulares, ya que están formados por multitud de facetas (algunos tienen más de 16000) y son capaces de captar radiaciones invisibles para el ojo humano.

Vuelo y migraciones. — Solamente los insectos que han llegado a la edad adulta tienen alas bien desarrolladas. Estas adoptan cualquier forma o tamaño y pueden presentarse en número de dos o de cuatro, unidas por la base a fin de que se muevan de manera coordinada. Para el vuelo, los insectos usan dos grupos de músculos y no tienen todos la misma velocidad de batido, que varía entre 12 oscilaciones por segundo para las mariposas y 250 en el caso de las abejas. En la actualidad puede perfectamente analizarse el complicado mecanismo del vuelo y movimiento de las alas con la ayuda de cámaras cinematográficas que realizan tomas de imágenes a gran velocidad. Las migraciones de estos animales dependen de las posibilidades voladoras, aunque algunos de ellos, dada su pequeñez y ligereza, se dejan transportar de un sitio a otro por el aire.

Reproducción y estado social. — En relación con la reproducción, conviene subrayar que la fertilidad de los insectos es superior a la de las aves y mamíferos. Depende fundamentalmente de la temperatura, nutrición y presencia de hormona juvenil. Los huevos pueden sólo hacer eclosión en condiciones apropiadas. Las hembras tienen una corta vida reproductora, aunque ésta puede llegar a tres años en las pertenecientes a ciertas organizaciones sociales. La unión se produce una vez al año y en estación fija. La fecundación es siempre interna y la gran mayoría de las especies son ovíparas. Otras variedades reproductoras son la partenogénesis (desarrollo de huevos no fecundados) y la poliembrionía, propia de ciertos himenópteros y consistente en la formación de varios embriones a partir de un solo cigoto.

Algunos insectos, como las abejas, hormigas y termes, viven en asociaciones, lo que requiere una perfecta organización del trabajo y una adecuada estructura jerárquica. Estas colonias pueden tener unos cincuenta mil individuos, como ocurre con las colmenas de abejas, unos doscientos mil en los hormigueros y hasta un millón en el caso de ciertas especies de comejenes. La provisión de alimentos, el orden interior y la defensa de la sociedad están asegurados por los componentes de la misma. Una hembra (a veces incluso más) tiene a su cargo la puesta de huevos con carácter exclusivo, asegurando de este modo la supervivencia del grupo y la creación de otros. Existen también castas individuales, diferenciadas de las otras no solamente por las funciones desempeñadas, sino también por la morfología.

Plagas y enfermedades. — Los principales insectos dañinos para el hombre son la *langosta*, devastadora de campos y cosechas, la *filoxera*, que ataca las viñas, el *pulgón*, destructor de frutales, rosales y leguminosas, la *dorífora* o escarabajo de la patata, que hace estragos en este tubérculo, la *procesionaria* del pino, la *mosca del olivo*, la *mariposa de la col*, el *gorgojo* de las leguminosas, la *carcoma* y los *termes* o *comejenes* de la madera, etc. Desde el punto de vista sanitario se pueden mencionar, entre los vectores de enfermedades, los *piojos* y las *pulgas*, propagadores respectivamente del tifus exantemático y de la peste bubónica, el *mosquito anofeles*, que difunde la malaria y el paludismo, la *mosca* corriente, que propaga el tifus y la tuberculosis, la *mosca tse-tsé*, transmisora de la encefalitis letárgica o enfermedad del sueño, y la *garrapata*, ectoparásito transitorio de régimen hematófago que acumula la sangre en numerosos ciegos intestinales y sirve de vehículo de infecciones y de otras muchas enfermedades de tipo microbiano.



Langosta

Fot. Six





Capullo, oruga y, después de haber sufrido la metamorfosis, mariposa del gusano de seda o Bombyx mori.

La lucha contra los insectos nocivos ha cobrado gran importancia en nuestros tiempos. La propia naturaleza limita su proliferación mediante condiciones ambientales adversas y enfrentándolos con otros animales con los que han de competir. El hombre, no obstante, contribuye también a su disminución o erradicación total y recurre a la *lucha biológica* o a los *insecticidas* e incluso, a veces, combina ambos procedimientos. El primero de ellos se presenta en la actualidad como el método más eficaz, ya que carece de los inconvenientes y consecuencias inherentes al uso de productos químicos. Consiste esencialmente en favorecer el desarrollo y propagación de animales e insectos enemigos naturales del dañino. La lucha en contra de las plagas, mediante los insecticidas químicos, tiene cada vez menos partidarios, debido a las catástrofes de tipo ecológico que el uso abusivo e indiscriminado de los mismos ha provocado. Si bien los resultados iniciales obtenidos con este segundo método fueron halagüeños y espectaculares, posteriormente pudo comprobarse cómo se produjeron graves males, como la contaminación de otras especies, tanto vegetales como animales, con efectos perjudiciales para la cadena ecológica, y se llegó a la inmunización parcial o total de ciertas especies al cabo de varias generaciones.

El arsenal pesticida consta de variados productos químicos : el D. D. T., tal vez el más conocido y el que ha dado indudablemente lugar a mayores abusos, los compuestos fosforados, los cianhídricos, los nicotinados, etc. De todos ellos, los que más perjuicio han causado, desde el punto de vista ecológico, son los clorados, entre los que se incluye el D. D. T. Existen asimismo cebos químicos y gases tóxicos que pueden fumigarse desde avionetas. Contra la terrible plaga de la langosta se ha utilizado con éxito el lanzallamas.

Especies beneficiosas. — Hay también insectos cuya acción resulta beneficiosa y puede decirse que son tan numerosos como los perjudiciales. En primer lugar tiene que mencionarse la *mosca de la carne*, que deposita sus huevos en los animales muertos y cuyas voracísimas larvas reducen en poco tiempo los restos a huesos y piel. Otros insectos necrófagos colaboran en esta tarea de limpiar los despojos de animales muertos. Los termes o comejenes y ciertas hormigas eliminan lenta, pero eficazmente, los árboles caídos y atacan las maderas viejas, pudiendo ser perjudiciales, sin embargo, si destruyen las vigas de los edificios antiguos.

Algunos insectos son útiles directamente al hombre. Es el caso de las *abejas*, productoras de miel y de jalea real, la *Bombix mori* o mariposa de la seda y la *cochinilla*, elaboradora de la laca. Otros destruyen animales dañinos, como la *luciérnaga*, devoradora de los caracoles de huerta, el *Novius cardinales*, que ataca los mosquitos del naranjo, y la *mariquita cuentadedos*, que aniquila los pulgones. Muchos son útiles por servir de alimento a las aves de caza, peces y animales salvajes.

Filogenia. — Se posee escasa documentación fósil acerca de los apterigógenos, la mayor parte de las veces conservada de modo fragmentario en calizas y cenizas volcánicas. Los pterigógenos, que son animales más recientes, derivan de los anteriores. Según los entomólogos, los insectos voladores debieron aparecer en el Período Devónico, hace unos 300 millones de años. La evolución consistió en la expansión lateral de los segmentos torácicos y en el nacimiento de las alas, que serían más complejas a medida que se adaptaban a las nuevas condiciones ambientales. Al mismo tiempo se producía la regresión de los apterigógenos, hasta llegar a la escasísima representación que hoy tienen.

A finales del Paleozoico, y aún más durante el Mesozoico (Triásico), los pterigógenos fueron ampliando sus formas adaptativas y surgieron los insectos florícolas. A partir del Terciario (Eoceno) quedaron ya definitivamente fijados los caracteres y las divisiones que esta clase presenta en la actualidad. Las resinas fósiles (ámbar del Oligoceno) son las que han conservado en mejores condiciones los insectos de anteriores eras geológicas, entre los cuales algunos corresponden a especies ya extinguidas, mientras que otros aparecen tal y como se presentan ahora.

Órdenes y especies. — Una vez estudiadas las características generales de los insectos, cabe exponer someramente algunos de los órdenes y, dentro de ellos, prestar mayor atención en los apartados que siguen a las especies que son más conocidas.

Tisanuros. — Los *tisanuros* carecen de alas y en algunos aspectos se asemejan al ciempiés. Tienen una pequeña separación entre el tórax y el abdomen, algunos apéndices abdominales, piezas bucales trituradoras, ramificaciones traqueales y ocelos.

Viven bajo las hojas y el musgo y no sufren metamorfosis. Los lepismas *(Lepisma saccharina)* son lucífugos de cuerpo escamoso y boca masticadora. Suelen comer celulosa y causan verdaderos estragos en el papel de los libros.

Ortópteros. — Los *ortópteros* se distinguen por la caracterización de las alas. Las anteriores, de aspecto coriáceo, reciben el nombre de *élitros*, mientras que las posteriores, blandas, sirven para volar. Estos insectos se adaptan a todos los tipos de locomoción.

Las cucarachas o curianas tienen tres pares de patas y existían ya en el Período Carbonífero. En la actualidad suelen vivir en las casas y almacenes y entre las especies más conocidas se encuentran la *Blatella germanica*, de color grisáceo, la *Blatta orientalis*, de color oscuro y mayor tamaño que la anterior, y la *Periplaneta americana*, de color claro y con una mancha en el prototórax.

Las tijeretas se diferencian por tener unos apéndices en el abdomen, semejantes a unas tijeras, con función

defensiva y de sujeción. Son de pequeña talla, omnívoras y, entre las especies más conocidas, figuran la *Forficula auricularia* y la *Labidura riparia*, ambas europeas.

La *mantis religiosa* o predicador tiene patas anteriores prensiles y una cabeza triangular, muy móvil, dotada de grandes ojos. Es de color verde amarillento, lo que le permite esconderse entre las hojas y esperar allí a la víctima. Después de la copulación, la hembra suele devorar al macho.

La langosta pertenece al género de los acridios y tiene patas posteriores perfectamente adaptadas para el salto. Existen especies de gran tamaño, como la *Anacridium aegyptium*, de color pardo ceniciento y de cuerpo superior a los 6 centímetros, que se encuentra en la Península Ibérica. En África del Norte viven las especies migratorias *Schistocerca gregaria* o langosta peregrina y *Dociostaurus maroccanus* o langosta marroquí, que, junto a la *Locusta migratoria*, constituyen uno de los mayores azotes para los cultivos. Forman verdaderas nubes que vuelan en diversas direcciones y son capaces de destrozar comarcas enteras en pocas horas. Se da el nombre de saltamontes a la mayoría de los ortópteros saltadores. El saltamontes propiamente dicho *(Tettigonia)* es de color verde y posee largas antenas.

Los grillos tienen la cabeza gruesa y los élitros cortos, con alas que asoman por sus extremos. Son omnívoros y viven en madrigueras que excavan en la tierra. Existen varias especies, como el grillo común *(Gryllus campestris)*, de color marrón o negro, y el grillo doméstico *(Gryllus domesticus)*, de color amarillo claro, que suele anidar en las chimeneas. Diferente de éstos es el grillo real o alacrán cebollero *(Gryllotalpa gryllotalpa)*, de unos 4 centímetros de longitud, con el primer par de patas transformado en órgano excavador, que ocasiona daños en las huertas al comerse las raíces de las plantas.

Isópteros. — Los *isópteros* son insectos que tienen alas membranosas, antenas filiformes, ojos atrofiados, aparato bucal masticador y metamorfosis incompleta. Pertenecen a este orden los termes o comejenes *(Bellicositermes natalensis)*, que viven en sociedad, con un rey y una reina que pierden las alas tras el vuelo nupcial en el momento de la reproducción. Ésta revela una prodigiosa fecundidad, que puede cifrarse en 30 millones de huevos por año. Entre los miembros de una termitera o colonia de termes hay que señalar a los que cumplen una misión de defensa (soldados) y a los obreros.

Odonatos y efemerópteros. — Los *odonatos* se caracterizan por una gran longitud (pueden llegar a los 30 centímetros), un cuerpo de forma cilíndrica, dos pares de alas membranosas y una brillante coloración. La cabeza es ancha, con finas antenas, dos grandes ojos compuestos y tres ojos simples. El aparato bucal está concebido para la masticación y los segmentos torácicos



Fot. Six

Ooteca o envoltura que contiene los huevos de la mantis religiosa, también llamada predicador o santateresa.

están articulados. Las especies del género *Libellula* son insectos carnívoros muy voraces, de largas alas y vuelo rápido, que viven sobre todo en las cercanías de las charcas. Las larvas acuáticas son también carnívoras y, en ciertos momentos, pueden desplazarse a gran velocidad expulsando bruscamente agua por la abertura anal. Es muy conocida la especie *Libellula depressa*, cuyas hembras son de color amarillento y los machos de una tonalidad azul oscuro.

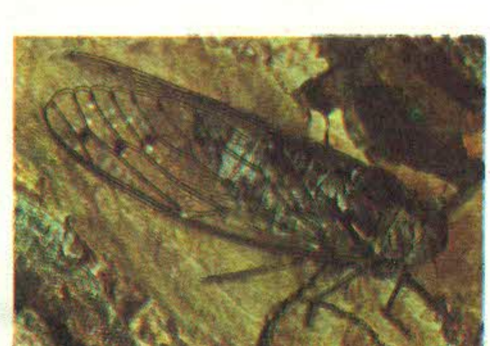
Los *efemerópteros* constituyen un orden de pterigógenos primitivos, provistos de alas anteriores grandes y posteriores mucho más pequeñas. Tienen un cuerpo bastante ligero y un abdomen que termina por un filamento. Están dotados de antenas cortas y de un aparato bucal masticador. Realizan una metamorfosis incompleta y las larvas acuáticas, generalmente fitófagas, representan un excelente alimento para los peces. El vuelo de estos insectos no es muy perfecto y los adultos sólo viven el tiempo estrictamente necesario para la reproducción. El género más importante es el de las *efémeras*, existentes sobre todo en el hemisferio norte, cuya especie más conocida es la cachipolla *(Ephemera vulgata)*, de color ceniciento, manchas oscuras en las alas y unos dos centímetros de longitud, que se encuentra principalmente a orillas del agua.

Hemípteros. — Los *hemípteros* tienen más desarrolladas las alas anteriores que las posteriores y piezas bucales para picar o chupar. Carecen de metamorfosis, pero pueden llegar a tener hasta cinco mudas. Su tamaño puede ser inferior al milímetro (cóccidos) o sobrepasar los 10 centímetros (cigarras). Terrestres o acuáticos, muchos de ellos son dañinos.

Entre las numerosas especies se pueden mencionar la chinche de campo *(Brachypelta)*, que se alimenta chupando el jugo de los vegetales, la chinche común o de cama *(Cimex lectularius)*, conocido ectoparásito humano, la cigarra *(Cicada plebeia)*, de color verdoso amarillento y cuyos machos producen un ruido estridente muy



Libélula.



Fot. Six (2)

Cigarra.

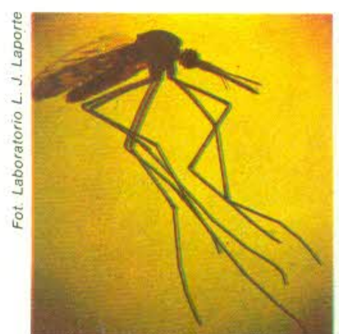


Fot. Jacques Six

La mariposa Apolo, bello y coloreado lepidóptero.

característico, los pulgones, causantes de graves daños en las plantaciones, y la filoxera *(Phylloxera vastatrix)*, especie de pulgón, extremadamente perjudicial para los viñedos, procedente de Estados Unidos que, al llegar a Europa a finales del siglo XIX, provocó grandes catástrofes en las zonas vitícolas de Francia y España. La cochinilla corresponde a varias especies de la familia de los cóccidos, entre las cuales se encuentran algunas de las más nocivas para las plantas y árboles frutales, tales como la de los naranjos *(Acerya purchasi)*, la del cerezo *(Aspidiotus forbesi)*, la del olivo *(Aspidiotus melliae)* y la que ataca con mayor frecuencia a los naranjos y limoneros en el Levante español *(Pseudococcus citri)*. No obstante, otras son beneficiosas como la cochinilla de la laca *(Laccifer lacca)* y la cochinilla del nopal *(Coccus cacti)*, oriunda de México, de la que se obtiene el carmín, pigmento rojo oscuro muy utilizado como colorante.

Lepidópteros. — Dentro del orden de los *lepidópteros* se encuentran las mariposas, insectos con cuatro alas membranosas recubiertas de pequeñas escamas, piezas bucales chupadoras y trompa compuesta de maxilas. Poseen metamorfosis completa, con larvas cruciformes (orugas) y ninfas encerradas en un capullo (crisálidas). Se suelen clasificar, de modo bastante artificial, en diurnas, crepusculares, nocturnas y microlepidópteros.



Fot. Laboratorio L. J. Laporte



El mosquito «culex pipiens», de la familia de los culícidos, y su larva.

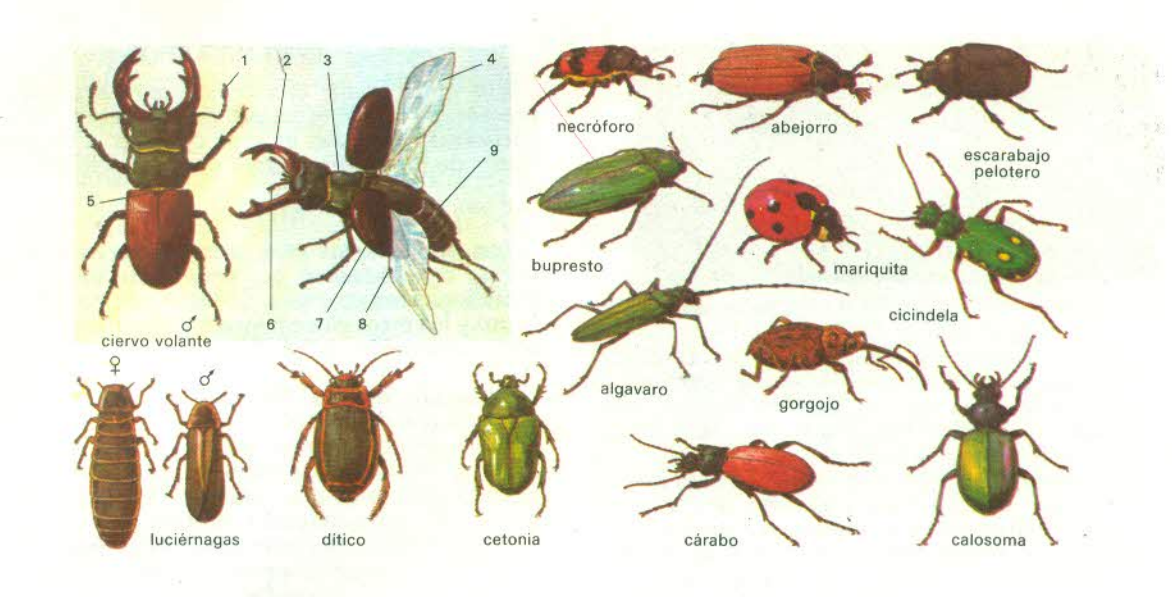
Las *mariposas diurnas* tienen antenas en forma de maza y, durante el reposo, mantienen las alas en posición vertical; pertenecen a este grupo la mariposa de la col *(Pieris brassicae)*, los sátiros, con manchas oceliformes, y las vanesas, de brillantes colores. Las *crepusculares* poseen antenas prismáticas y las alas permanecen horizontales durante el reposo; prototipos de este grupo son la esfinge calavera *(Acherontia atropos)*, que devora las patatas, y la sesia *(Sesia chrysidiformis)*, de cuerpo anillado y alas transparentes. Las *nocturnas* suelen ser nocivas y sus orugas destruyen las plantas, como es el caso de la procesionaria, del género *Lasiocampa*, que se alimenta de las hojas de pino o de roble. Ésta sale al anochecer en largas filas, de donde le viene el nombre. Causan también mucho daño las noctuas *(Hadena sualis)*, cuyas orugas permanecen enterradas durante el día, y, por la noche, devoran las hojas y los brotes de los vegetales. Dignas de señalarse, desde el punto de vista industrial, son las mariposas nocturnas del género *Bombyx*, que tienen larvas fitófagas de gran tamaño y a las cuales pertenece la *Bombyx mori*. La oruga de ésta es el gusano de seda, que segrega un capullo con unos 400 ó 500 metros de seda natural.

En el grupo de los *microlepidópteros* se sitúan algunas mariposas muy pequeñas como las polillas, cuyas larvas dañan las pieles y las frutas, y las pirales de la vid o de la harina. En América del Sur se conoce la carpocapsa *(Carpocapsa pomonella)*, que ataca a las manzanas, y la macroglosa *(Macroglossa stellarum)*, con una trompa de unos 20 centímetros, que produce un ruido parecido al del colibrí.

Dípteros. — Los insectos *dípteros* tienen sólo dos alas y una trompa labial con varios estiletes. Sufren metamorfosis completa y tienen larvas ápodas. Entre los mosquitos, dípteros de antenas largas, se encuentran las típulas, los cecidómidos, los anofeles, que transmiten el paludismo, y las estegomías, propagadoras de la fiebre amarilla. Las moscas, dípteros de antenas cortas, se caracterizan por el cuerpo rechoncho y las patas cortas. Existen innumerables especies, como los tábanos *(Tabanus bovinus)*, que pican a los bueyes, los estros o moscardones *(Oestrus ovis)*, parásitos de caballos y carneros, la mosca común *(Mosca domestica)*, la mosca azul de la carne o moscarda, la mosca de establo *(Stomoxis calcitrans)*, la mosca verde o de los excrementos *(Lucilia caesar)*, la mosca del caballo *(Hippobosca equina)*, etc.

Algunos dípteros están desprovistos de alas y poseen patas posteriores adaptadas para el salto, como las pulgas *(Pulex irritans)*. La pulga de las ratas, que transmite la peste, y la nigua *(Tunga penetrans)*, propia de la América tropical, tienen fuerte pico y lancetas para desgarrar la piel de los animales y del hombre.

Coleópteros. — Los *coleópteros* forman uno de los órdenes más importantes de los insectos, en el que se han llegado a clasificar más de 80 000 especies. Se reconocen por las alas anteriores convertidas en élitros, mientras que las posteriores, replegadas bajo las anteriores, son blandas y se despliegan solamente en el momento de volar. Las piezas bucales son trituradoras, el prototórax recibe el nombre de *coselete* y la metamorfosis es completa. Algunos son carnívoros, como los cárabos, las cicindelas, los gusanos de luz o luciérnagas y los necróforos; estos últimos se nutren de los cadáveres de otros insectos. Entre los herbívoros, se pueden mencionar los gorgojos, con muchas especies como el gorgojo del arroz *(Sitophilus oryzae)*, la dorífora de la patata *(Leptinotarsa decemlineata)*, que puede alcanzar hasta dos centímetros de longitud, tiene cinco listas



Coleópteros : 1. Antena ; 2. Mandíbula ; 3. Protórax ; 4. Ala ; 5. Escudete ; 6. Palpo ; 7. Élitro ; 8. Articulación del ala en el mesotórax ; 9. Abdomen.

negras sobre los élitros y causa destrozos temibles en los patatares, los abejorros, los lucanos y los ciervos volantes. Los escarabajos se dividen en numerosas especies, como el escarabajo pelotero *(Ateuchus sacer)*, el enterrador *(Necrophorus fossor)*, el elefante *(Megasoma elephas)* en América tropical, etc.

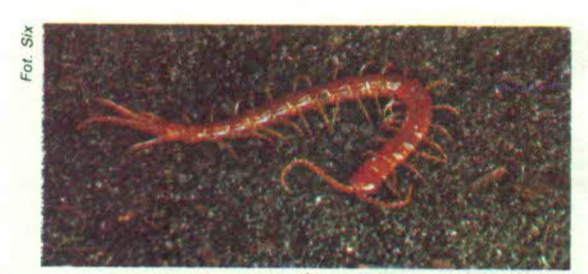
Coleópteros *xilófagos*, es decir, que se alimentan de madera, son la carcoma, cuyas larvas roen la de los edificios y mobiliario, los capricornios, que producen destrozos en las zonas forestales, los dinastes *(Dynaste herculae)*, que llegan a tener hasta 15 centímetros de longitud, y los bupréstidos, abundantes en los trópicos americanos. Existe también un grupo de coleópteros llamados *vesicantes*, porque segregan una sustancia irritante. Entre ellos se encuentra la cantárida *(Lytta vesicatoria)*, de complicada metamorfosis, que vive en los fresnos de las regiones mediterráneas.

Himenópteros. — Los *himenópteros* tienen cuatro alas blandas, nervadas y membranosas, un tórax unido al abdomen por un pedículo, piezas bucales trituradoras o lamedoras y metamorfosis completa con larvas ápodas. Entre los varios géneros hay que señalar a los paralizadores, como los *Rompilus*, *Sphex* y *Cerceris*, que cazan las arañas y otros insectos inyectándoles un veneno que los inmoviliza. Las avispas y abejones viven en sociedad, constituida ésta por una reina y muchas obreras, estas últimas infecundas. Habitan en nidos o avisperos bajo tierra o en el tronco de los árboles. En el interior de los mismos se encuentran los panales, formados por numerosos alvéolos, en los cuales las larvas se nutren con sustancias azucaradas. También sociales y de gran utilidad para el hombre son las abejas *(Apis mellifica)*, que producen la miel con el néctar extraído de las flores y exudan cera por el abdomen. Viven en colmenas compuestas de panales, que constan de alvéolos hexagonales. La población de una de estas colmenas puede alcanzar los 50 mil individuos, entre los cuales se encuentran la reina, las obreras y un centenar de machos o *zánganos*, que no tienen misión alguna cuando han efectuado el acoplamiento. La reina, fecundada una sola vez durante el *vuelo nupcial*, pone un número aproximado de un millón de huevos por año en un lustro.

Otros himenópteros sociales muy importantes son las hormigas, pertenecientes a varias especies de la familia de los formícidos, cuyas costumbres son parecidas a las de los termes o comejenes. El hormiguero está constituido por una reina, con misión reproductora, obreras y soldados. La fecundación se efectúa también durante el *vuelo nupcial* entre hormigas aladas y los machos mueren inmediatamente después del acoplamiento. Siempre se ha reconocido el carácter industrioso de las hormigas, que lo mismo son capaces de cavar galerías que de transportar alimentos, cultivar hongos, recoger granos, coser y tejer, construir el nido, etc. En América existen la hormiga gigante llamada arriera *(Atta fervens)*, verdadera plaga para las plantaciones, la hormiga mochilera *(Mirmecocystus mexicanus)*, de tamaño pequeño, que tiene la particularidad de recoger en el buche la miel que extraen luego las obreras en los nidos subterráneos, la hormiga argentina *(Iridomyrmex humilis)*, la hormiga acróbata de Cuba *(Crematogaster lineolata)*, etc.

Miriápodos

En la clase de los *miriápodos*, el cuerpo presenta solamente dos divisiones diferenciadas : la cabeza y el tronco. La primera lleva un par de mandíbulas, otro de maxilas (a veces dos pares) y dos antenas. El segundo se halla multisegmentado y de cada somita arrancan uno o dos pares de patas. Todos estos animales son terrestres y de vida libre. Tienen la boca provista de glándulas salivares y venenosas, un aparato digestivo completo, una respiración traqueal, una circulación llevada a cabo por un sistema tubuliforme dorsal, una excreción basada en glándulas de Malpighi y un sistema nervioso de tipo ganglionar. Experimentan mudas y son sexualmente dioicos, unos ovíparos y otros vivíparos. Los miriápodos fósiles no abundan y algunos de ellos se han encontrado en las cuencas hulleras y en el ámbar del Terciario. Los vestigios más antiguos proceden, sin embargo, del Paleozoico (Devónico Inferior). Desde el punto de vista filogénico, los miriápodos están muy relacionados con los insectos y pueden dividirse en dos subclases, los *quilópodos* y los *diplópodos*, constituidos respectivamente por los órdenes *scolopendra* y *juliformia*.



Ciempiés, quilópodo de la familia de los escolopéndridos.

Ciempiés. — El ciempiés *(SCl. Quilópodos, O. Scolopendra)* consta de un cuerpo aplanado y segmentado dorsoventralmente, con un número de somitas que, según la especie, puede llegar hasta 160. La cabeza, biantenada, tiene cuatro maxilas, dos mandíbulas y, en general, ojos simples, que a veces se reúnen para formar ojos compuestos. En el primer segmento se encuentra un par de uñas venenosas, constituidas por un doble par de artejos que son capaces de producir la muerte, incluso la de un hombre, como ocurre con las escolopendras tropicales. Los demás segmentos, salvo el último, están dotados de patas terminadas en uña, que sirven para desplazarse rápidamente. Estos animales suelen habitar en los países cálidos, ocultándose bajo troncos y piedras. Son casi siempre de vida nocturna y se alimentan de insectos y lombrices, a los que atacan y matan con su veneno. Entre las especies más conocidas figuran la *Scolopendra morsitans*, de color amarillo pardo, que vive en el sur de Europa, el norte de África y Asia Menor, la *Scolopendra lucasi*, de unos 15 centímetros de longitud, con color de herrumbre, que se encuentra en las islas del Océano Índico, la *Scolopendra cingulata*, que se halla en los países mediterráneos, y algunas otras variedades más.

Milpiés. — El grupo más importante de los miriápodos es el de los diplópodos, una de cuyas especies es el milpiés *(SCl. Diplópodos, O. Juliformia)*, que, además de las muchas semejanzas estructurales que presenta con el ciempiés, tiene impregnaciones calcáreas superficiales, un cuerpo de vivos colores y dos pares de patas en cada segmento, aunque se mueve con más lentitud y torpeza que los quilópodos. Puede alcanzar hasta unos 20 cm de longitud y suele vivir en suelos húmedos, nutriéndose de sustancias orgánicas en descomposición.

QUELICERADOS

Los *quelicerados* son un subtipo de artrópodos que presentan solamente un par de apéndices preorales, los *quelíceros*, provistos de uñas o *quelas*. Comprenden las clases de los *merostomas* y de los *arácnidos*.

Merostomas

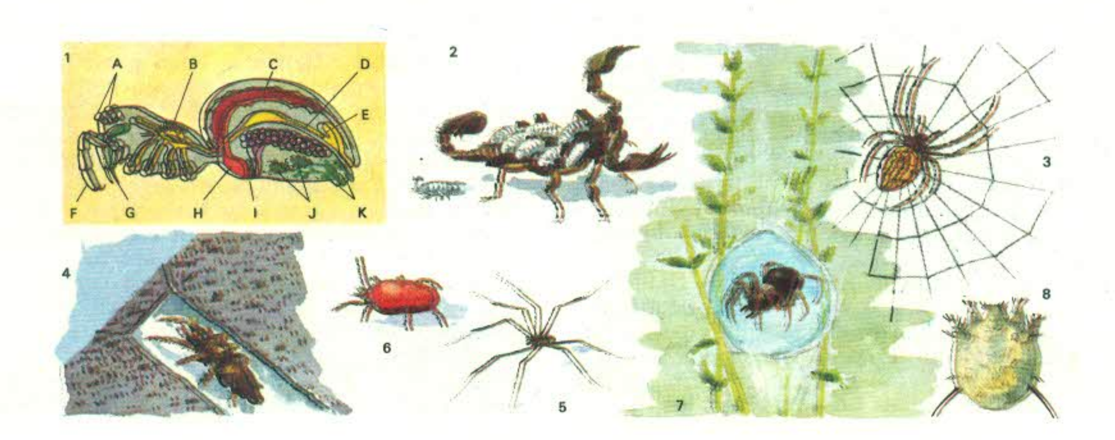
Los *merostomas* son artrópodos marinos quelicerados, con esqueleto quitinoso fosfatado y seis apéndices torácicos sencillos, de los cuales un par es un quelícero y los otros cinco tienen misión ambulatoria. Poseen ojos compuestos y respiran por medio de branquias.

Cacerola de las Molucas. — La cacerola de las Molucas *(Cl. Merostomas, SCl. Xifosuros)* es una especie del género *Limulus* que tiene un caparazón redondeado y un cuerpo prolongado por un apéndice, lo que le da el aspecto de una cacerola. Pertenece a la subclase de los xifosuros, animales marinos que viven en fondos poco profundos. Las primeras formas fósiles de *Limulus* conocidas datan del Cámbrico, pero este género es poco abundante en la actualidad.

Arácnidos

Los *arácnidos* son animales terrestres de vida libre, de un tamaño que oscila entre dimensiones microscópicas y los 15 centímetros que puede alcanzar un escorpión. Viven generalmente en zonas calurosas y áridas, aunque algunas especies prefieren las regiones cálidas y húmedas. La mayoría de ellos se alimentan de insectos dañinos, por lo que puede decirse que resultan beneficiosos para el hombre, salvo algunas especies que son peligrosas por tener una mordedura venenosa. Matan a sus presas con las uñas, instiladoras de jugos venenosos de efectos paralizantes. Algunos poseen glándulas secretoras de un líquido que se solidifica al contacto con el aire y, de este modo, tejen unas redes (telas de araña) para cazar. Tienen el cuerpo recubierto de quitina, respiran por filotráqueas y su sistema circulatorio se basa en un corazón tubuliforme. El aparato digestivo es completo y el excretor funciona mediante tubos de Malpighi. El sistema nervioso es de tipo glanglionar, con un cordón ventral. Las piezas bucales son queliceradas y tienen generalmente varios pares de ojos simples. Se desplazan gracias a cuatro pares de patas. Desde el punto de vista sexual, son dioicos y poseen acusado

1. Esquema de la estructura de una araña (A. Ojos; B. Buche y sus músculos; C. Corazón; D. Tubo digestivo; E. Cloaca; F. Pedipalpo; G. Quelícero; H. Pulmón; I. Orificio genital; J. Glándulas sericígenas; K. Hileras). 2. Escorpión hembra con sus crías; 3. Epeira; 4. Migala en la madriguera; 5. Segador u opilión; 6. Ácaro; 7. Argyroneta o tejedera; 8. Sarcopto o arador.



dimorfismo, ya que las hembras son mayores. Pueden ser ovíparos y vivíparos y todos realizan la intrafecundación. Carecen de metamorfosis y, durante el desarrollo, sufren varias mudas. En cuanto al régimen de vida, son libres, solitarios o parásitos.

Se han encontrado fósiles de arácnidos procedentes del Carbonífero y escorpiones del Silúrico Superior. Ya en el Cenozoico (Oligoceno) abundaron los animales de esta clase, como lo atestiguan los ejemplares aparecidos en bloques de ámbar y en cuencas hulleras.

Los arácnidos se dividen en tres órdenes : *aracnoideos, escorpioideos* y *acarinos.*

Araña común. — La araña común *(Cl. Arácnidos, O. Aracnoideos)* está constituida básicamente por un cefalotórax con ocho ojos simples, dos quelíceros o uñas venenosas y una boca con dos pedipalpos, que forman las maxilas masticadoras; en el tórax se encuentran cuatro pares de patas locomotoras de siete artejos y dos o tres uñas; el abdomen es grande y redondeado, unido por un pedículo al cefalotórax, con una abertura genital en la zona anterior. Todo el cuerpo se halla cubierto por una cutícula de la que salen cerdas y pelos, muchos de ellos con función sensorial. El aparato digestivo es completo, con un recto intraabdominal en el que se vierten jugos de la glándula hepática. El excretor se compone de tubos de Malpighi que comunican con el intestino. La respiración se efectúa gracias a sacos pulmonares, con láminas muy vascularizadas en el interior, donde se realiza el intercambio gaseoso. El aparato circulatorio está centrado en un corazón que se localiza en el abdomen, en posición dorsal, con seis ostiolos y dos vasos principales, formados por las aortas anterior y posterior. En lo que se refiere al sistema nervioso, un ganglio supraesofágico y bilobulado comunica con la gran masa neuroventral. Desde el punto de vista sensorial, las arañas tienen muy desarrollados los sentidos del olfato, el tacto, la vista y el oído. Los huevos que pone la hembra, en número que varía según las especies y puede alcanzar los 800, se mantienen dentro de un capullo formado por la seda segregada y cinco semanas más tarde hacen eclosión. Antes de llegar a la madurez sexual tienen lugar varias mudas. La araña es un animal de vida libre, insectívoro, cuyos enemigos principales son el lagarto y varias aves. Existen numerosas especies, entre ellas la de hogar *(Tegenaria domestica)*, la de jardín *(Epeira diademata)*, las licosas o tarántulas, que se encuentran en los países mediterráneos, las argironetas o arañas acuáticas, etc.

Escorpión. — Los escorpiones *(Cl. Arácnidos, O. Escorpioideos)* presentan muchas semejanzas con el prototipo descrito anteriormente y por eso sólo se reseñarán aquí las diferencias. Los pequeños quelíceros que tienen están rematados por pinzas, lo mismo que los pedipalpos. El abdomen, formado por doce segmentos, se subdivide en un preabdomen, más grueso, con cuatro pares de estigmas que comunican con otras tantas filotráqueas, y un postabdomen delgado, terminado por una uña venenosa. Estos animales viven bajo piedras o en pequeños agujeros, prefiriendo las regiones cálidas y secas. Son cazadores nocturnos de arañas e insectos, que capturan con los quelíceros y trituran con los pedipalpos. Los huevos fecundados eclosionan dentro de la hembra y, tras unos días de vida intraabdominal, las crías salen al exterior y comienzan entonces las sucesivas mudas hasta llegar a la madurez.

El género *Euscorpius* abunda en Europa y el género *Buthus*, mucho más venenoso, se encuentra en las zonas mediterráneas. La picadura de los escorpiones es muy dolorosa y particularmente grave en los niños. El tratamiento consiste en la inyección de sueros antiponzoñosos y sustancias antiinflamatorias. Algunas especies tropicales, como el *Androctonus australis*, pueden llegar a ser mortales para el hombre.



Fot. Six

El escorpión está provisto de glándulas venenosas.

Acarinos. — Los *acarinos* constituyen un orden de arácnidos, pequeños o microscópicos, carentes de segmentos y con fusión de cabeza, tórax y abdomen. Las piezas bucales se sitúan en la parte anterior. Son animales dioicos y de sus huevos nacen larvas con seis patas, que llegan a ser adultas tras una serie de mudas sucesivas. Son libres y viven en agua tanto dulce como salobre o en la misma tierra. Sin embargo, frecuentemente son parásitos de vegetales o animales.

El arador de la sarna *(Sarcoptes scabiei)* es un conocido parásito del hombre, que excava galerías subepidérmicas donde la hembra pone los huevos. Esto origina fuertes picores que se localizan principalmente en las áreas interdigitales. La falta de higiene favorece la propagación de estos animales y para eliminarlos es preciso recurrir a sarnicidas idóneos. Existen también otras sarnas que afectan a las ovejas, estropeando los vellones de lana, a los perros, gatos, gallinas y conejos.

La garrapata común *(Ixodes ricinus)* es un ectoparásito chupador que se fija en el cuerpo de diversos animales domésticos mediante patas ganchudas y solamente se desprende cuando los ciegos intestinales se encuentran repletos de la sangre del huésped. Algunas variedades tropicales de garrapatas pueden ser parásitos del hombre. Aparte de los perjuicios que estos acarinos acarrean por sí mismos, son también peligrosos vehículos de otras enfermedades de tipo microbiano, tales como las fiebres eritematosas y las denominadas recurrentes.



Fot. Dr. M. Gentilini

La garrapata es un ectoparásito de régimen hematófago.

Cordados

Características generales. Filogenia general. — Acranios : Semicordados. Tunicados. Cefalocordados. — Craniotas o vertebrados : Agnatos. *Ostracodermos. Ciclóstomos.* Mandibulados. — **Peces :** Placodermos. — Condrioictios : Tiburón. — Osteoictios. Filogenia. División. Perca dulceacuícola. Otros osteoictios. — **Anfibios :** Estegocéfalos. Urodelos. — Anuros : Rana común. — **Reptiles :** Filogenia. Quelonios. Squamata. Cocodrilo americano. Otros crocodilios. — **Aves :** Filogenia. División. Gallina común. — **Mamíferos :** División. Gato común. Filogenia. Los rumiantes. Entronque filogenético de la especie humana. Consideraciones sobre los primates.

Dentro del grupo de los *cordados* se incluyen los animales que presentan en el plano de simetría cinco ejes alargados : un tubo nervioso, una cuerda dorsal (corda o notocordio) elástica y no segmentada, sustituida en los vertebrados por una serie de piezas esqueléticas, una aorta, un tubo digestivo y un vaso ventral, generalmente provisto de un corazón. Estos ejes son tan heterogéneos en estado adulto que parecen polifiléticos, es decir, procedentes de troncos filogénicos dispares. Entre los caracteres comunes figuran las capas germinales (ecto, meso y endodermo) y la simetría bilateral. Los cordados se pueden dividir de la manera siguiente :

DIVISIÓN	SUBPHYLUM	SUPERCLASE	CLASE
Acranios	Semicordados Tunicados Cefalocordados		
Craniotas o vertebrados	Agnatos		Ostracodermos Ciclóstomos
	Mandibulados	Peces	Placodermos Condrioictios Osteictios
		Tetrápodos	Anfibios Reptiles Aves Mamíferos

Características generales. — Se estudiarán a continuación tres caracteres peculiares de estos animales : el notocordio, el cordón nervioso y las hendiduras branquifaríngeas.

El *notocordio*, situado longitudinalmente entre el sistema nervioso central y el intestino, se halla formado por grandes células con una sólida envoltura. Se encuentra siempre en alguna de las fases del desarrollo de los cordados, pero en los vertebrados solamente está completo en el período embrionario. Es un cordón cilíndrico que se extiende de la cabeza a la extremidad caudal.

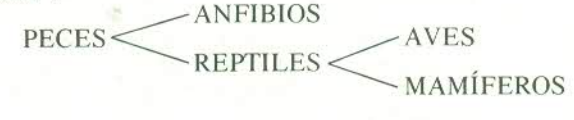
El *cordón nervioso*, localizado encima del notocordio, es un tubo largo y hueco, originado por invaginación ectodérmica después de la fase gastrular. Aparece ensanchado en los procordados y constituye su cerebro embrional. En los cordados superiores esta formación cerebral presenta una creciente complejidad y, en los vertebrados, llega a convertirse en un auténtico cerebro, alojado en una caja ósea o *cráneo*.

Las *hendiduras branquifaríngeas* derivan de evaginaciones endodermofaríngeas e invaginación ectodérmica. Se sitúan a ambos lados de la faringe embrionaria, en número par, y sirven para la respiración de los cordados acuáticos. Existen también en las fases embrionarias de los reptiles, aves y mamíferos, pero, posterioremente, no se desarrollan ni llegan a ser utilizadas para la función respiratoria.

Filogenia general. — El origen de los cordados y la localización de éstos en el tiempo o en el espacio son casi desconocidos, debido a que apenas se han encontrado vestigios a causa del cuerpo blando que tienen. A la luz de los conocimientos actuales, puede afirmarse que los primeros carecían de elementos esqueléticos que permitiesen la fosilización. Los testimonios más antiguos corresponden a peces del Ordovícico y del Silúrico, es decir, a unos períodos que apenas llegan a mediados del Paleozoico. A partir del Mesozoico existe una relativa abundancia de restos fósiles y se incluye ya a los peces dentro del tronco vertebrado. De una de las variedades de éstos (los crosopterigios) surgirán los anfibios en el Devónico (período del Paleozoico). También de esta era son los reptiles del Pérmico, que cambiaron de forma y tamaño durante el Mesozoico. Fueron desapareciendo luego muchos de ellos durante el período Cretácico y algunos evolucionaron hacia formas regresivas. Durante la época correspondiente al Terciario existieron ya los tipos principales que se conocen.

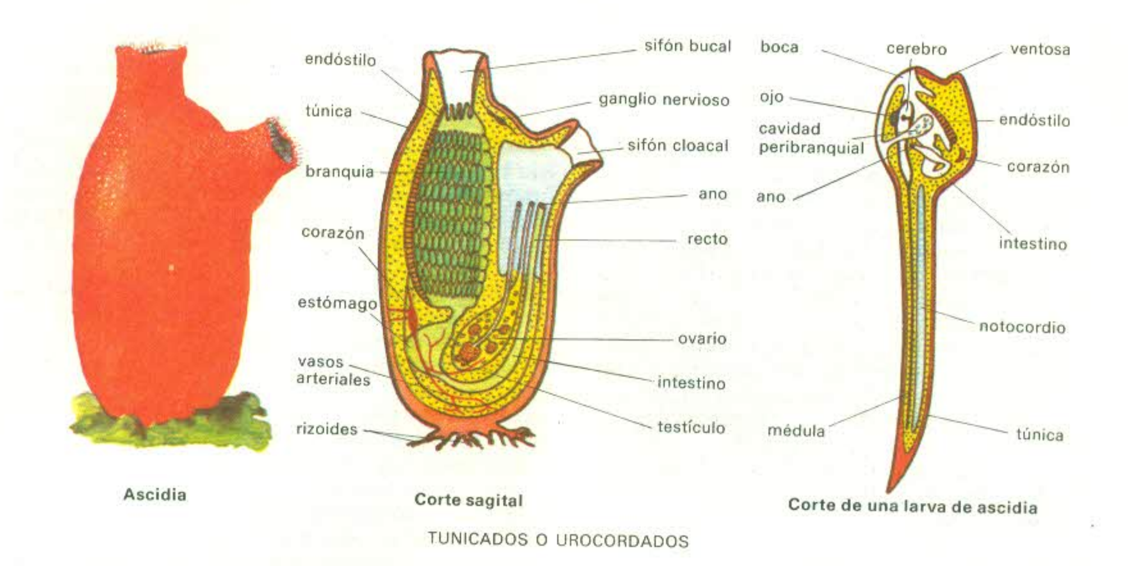
Los reptiles tuvieron formas voladoras, de las cuales derivaron las aves más primitivas en el Jurásico Superior (Mesozoico), y ciertas clases de ellos, como los teromorfos, poseyeron unos caracteres anatómicos, cráneo y dientes principalmente, que permiten que se les considere como los primeros mamíferos del Permo-Triásico. Se diferenciaron aún más en el Terciario.

De acuerdo con todo lo expuesto, el proceso evolutivo de los cordados podría esquematizarse del siguiente modo :



ACRANIOS

Entre los *acranios* se encuentran los seres inferiores del phylum de los cordados, es decir, carentes de cráneo



TUNICADOS O UROCORDADOS

y encéfalo, que poseen, no obstante, cordón nervioso dorsotubular ramificado, además de notocordio, hendiduras branquiales, miómeros (masas musculares) y nefridios excretores. Esta estructura corporal explica que haya escasez de fósiles, aunque se han descubierto algunos procedentes del Ordovícico (Era Paleozoica) y del Cretácico (Mesozoico) y también otros fragmentos de difícil clasificación.

Se puede establecer la siguiente división de los acranios :

SUBPHYLUM	CLASE
Semicordados	Enteropneustos Pterobranquios
Tunicados	Larváceos Ascidiáceos
Cefalocordados	Leptocordios

Semicordados. — Los *semicordados* son animales marinos, afines a los equinodermos desde el punto de vista embriológico, que se integran en un pequeño grupo de procordados. Poseen notocordio, hendiduras branquiales y cordón nervioso, hueco en la región anterior y macizo en la posterior. Entre las clases principales se pueden señalar la de los *enteropneustos*, a la que pertenece la especie de los balanoglosos, cavadores de galerías de aspecto vermiforme que miden unos 16 centímetros de longitud y tienen hendiduras branquiales. La clase de los *pterobranquios* engloba la especie de los pequeños cefalodiscos, que poseen dos aberturas branquiales y se nutren por medio de corrientes ciliares.

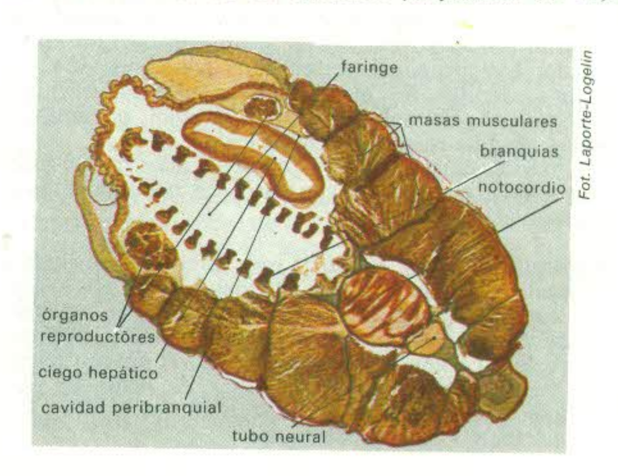
Tunicados. — El subphylum de los *tunicados*, llamados también *urocordados*, se caracteriza por tener formas larvarias activas, provistas de notocordio, y un sistema nervioso muy desarrollado. De adultos se envuelven en una cubierta o túnica que ellos segregan, de donde procede la denominación que tienen, y, al llegar a ese estado, carecen de notocordio y se reduce el sistema nervioso. Son animales marinos, unas veces fijos y otras libres, y el tamaño oscila entre valores microscópicos y 25 centímetros de diámetro. Las principales clases son los larváceos y ascidiáceos.

Los *larváceos*, de una longitud máxima de 6 milímetros, marinos y libres, segregan una espesa túnica gelatinosa y poseen dos hendiduras branquiales.

Los *ascidiáceos* sufren una metamorfosis regresiva en la que, partiendo de la larva, van perdiendo los principales caracteres de cordado que tenían. Al llegar al estado adulto, muestran ya una túnica con músculos dispersos, además de numerosas hendiduras branquiales. Son también animales marinos, pudiendo encontrarse tanto en aguas superficiales como a 4 mil metros de profundidad.

Cefalocordados. — Los *cefalocordados* suponen un eslabón más en la evolución hacia formas superiores. Poseen ya, con carácter definitivo, hendiduras branquiales, así como un cordón nervioso y un notocordio a lo largo de todo el cuerpo. Dentro de la clase de los *leptocordios* se destaca la especie *anfioxus*, cordado con aspecto pisciforme, de unos 5 centímetros, que tiene numerosas hendiduras branquiales y una piel desnuda y sin escamas. La cabeza está indiferenciada del resto del

Corte transversal de un anfioxus (ampliación de 10,2).



cuerpo. Vive en las arenas costeras, donde se entierra, y puede nadar con bruscos movimientos corporales. Se considera que el anfioxus es la forma atávica de los cordados, de cuyo phylum presenta los caracteres básicos descritos anteriormente. Apoyado en el notocordio, tiene un sistema nervioso central, que consiste en un tubo de gruesas paredes constituidas por tejido nervioso, y, bajo el notocordio, un aparato digestivo formado por una boca, circundada de tentáculos, faringe, estómago, intestino y ano. Posee también un hígado sencillo. Respira el oxígeno disuelto en el agua y está dotado de un sistema de circulación sencilla, con un vaso circulatorio dorsal y otro central. Desde el punto de vista sensorial dispone de dos pares de nervios craneales, una mancha ocular fotosensible y una fosa olfatoria. Es un animal dioico, con abundante dotación gonadal. La fecundación es externa, seguida de puesta de huevos y nacimiento sucesivo de larvas. El crecimiento se efectúa durante un período de 4 ó 5 meses, al cabo de los cuales llegan los anfioxus a la edad adulta.

CRANIOTAS o VERTEBRADOS

Los *craniotas* constituyen la división esencial del phylum de los cordados. Fundamentalmente poseen un cráneo, en el cual se aloja el encéfalo, arcos viscerales y vértebras, que forman un eje óseo para proteger el sistema nervioso dorsal *(epineuros)*. La importancia de éstas ha hecho que la denominación de **vertebrados** haya alcanzado mayor difusión que la de *craniotas*.

Los vertebrados tienen simetría bilateral. Están dotados de un elemento de sostén, que corresponde a un esqueleto óseo o cartilaginoso, y de extremidades, pares e impares. El corazón es el órgano motor de un sistema circulatorio cerrado. El encéfalo, de tamaño variable, es el centro nervioso. Los órganos de los sentidos presentan gran complejidad y son muy diversos.

Se han propuesto diversas hipótesis acerca del origen de los vertebrados y una de las que han alcanzado mayor difusión afirma que proceden de formas móviles de procordados o de larvas de ascidiáceos. Estos animales, cuyos restos fósiles más antiguos se han encontrado en Escocia, se osificaron y aparecieron los exoesqueletos de ciertos peces de agua dulce. Posteriormente se desarrollaron tanto en el mar como en tierra firme, huyendo tal vez, en este último caso, de los depredadores marinos.

La vida en tierra firme exigió una serie de cambios en el esqueleto, como la aparición de las extremidades. Éstas fueron evolucionando desde una disposición horizontal y paralela al suelo hasta otra vertical. Puede observarse como los urodelos y los reptiles corresponden todavía a los esquemas iniciales ya que, cuando se desplazan por el suelo, dan la impresión de que están nadando. Los primeros vertebrados conocidos son los agnatos, carentes de mandíbulas y existentes en el Silúrico y el Devónico, aunque se han encontrado también algunos restos del Ordovícico.

La división de los craniotas o vertebrados comprende dos subphyla, que son los agnatos y los mandibulados o gnatostomados.

Agnatos. — Los *agnatos* son seres de estructura elemental, acuáticos y carentes de mandíbulas, por lo que se les conoce también bajo la denominación de *amandibulados*. Exteriormente se parecen a los peces, porque, además de no tener mandíbulas, tampoco poseen apéndices pares, aletas o patas, como el resto de los vertebrados. Los agnatos se dividen en dos clases : los ostracodermos y los ciclóstomos.

Ostracodermos. — Los vertebrados más antiguos que se conocen, y de los únicos que quedan restos fósiles, son los *ostracodermos*, tales como los peces acorazados, cuyas grandes escamas anteriores estaban fusionadas y formaban una dura coraza cefalotorácica de tipo óseo. Éstos vivieron hace unos 400 millones de años en la Era Paleozoica (períodos Silúrico y Ordovícico) y están considerados como los verdaderos antecesores de todos los demás vertebrados.

Ciclóstomos. — Desaparecidos los ostracodermos, los *ciclóstomos* son los únicos representantes de los vertebrados agnatos en la actualidad. Proceden de los peces acorazados del Silúrico y Devónico, con ciertas modificaciones. Carecen de miembros y aletas pares, costillas, sistema simpático y conductos genitales ; la piel está desprovista de escamas, la boca es redonda y sin mandíbula, los nervios situados en el cráneo son poco numerosos y poseen un solo canal semicircular y un arco branquial suplementario.

El prototipo de esta clase es la lamprea, animal acuático vermiforme, con boca circular por la que se fija a otros peces para chuparles la sangre, raspándoles la piel con su lengua córnea. Posee un esqueleto cartilaginoso, carece de escamas y de aletas pares. Las branquias, que oscilan entre seis y catorce pares, tienen forma de saco. El corazón se divide en dos cámaras y el sistema nervioso consta de dos hemisferios cerebrales. Desde el punto de vista sexual, las lampreas son dioicas, carecen de conductos genitales y tienen una fecundación externa. El desarrollo pasa por una larga fase larvaria. Existen formas marinas, que remontan los ríos para la puesta, y otras que permanecen siempre en agua dulce. Se desplazan en el agua por movimientos ondulatorios, como una culebra. Se pueden señalar una especie marina *(Petromyzon marinis)* y otras de menor tamaño, que viven en los ríos *(Lampetra fluviatilis* y *Lampetra planeri)*. Las últimas, muy afectadas por la contaminación de las aguas y por la pesca indiscriminada, tienen una carne muy apreciada.

Mandibulados. — Estos animales, como su nombre indica y que ha sido preferido al de *gnatostomados*, poseen verdaderas mandíbulas, lo que significa que corresponden a un mayor nivel evolutivo, y apéndices pares. No obstante, son tantos los que podrían componer este grupo, por presentar caracteres genéricos iguales, que, para poder sistematizarlos, es necesario basarse en otros diferentes, muy genéricos asimismo, que permiten determinar dos superclases, *peces* y *tetrápodos*, como puede observarse en el cuadro que figura a continuación :

PECES	TETRÁPODOS
Piel escamosa	Piel córnea o desnuda, con plumas, escamas o pelos
Esqueleto cartilaginoso u óseo	Esqueleto óseo
Apéndices en forma de aletas	Apéndices en forma de extremidades
Respiración branquial	Respiración pulmonar

Dado el número y la importancia de estos animales, se dedicará un capítulo a los peces y otro a cada una de las clases en las que se dividen los tetrápodos (anfibios, reptiles, aves y mamíferos).

Peces

En el mundo de los vertebrados, los *peces* son los seres más numerosos, dividiéndose en unas 24 000 especies. Esta abundancia puede deberse a la riqueza del medio ambiente o al hecho de que las aguas cubren las cuatro quintas partes del Planeta. Unas 6 500 especies son de agua dulce, clasificándose en propiamente dulceacuícolas y dulceacuícolas alternantes.

La adaptación de los peces al medio es perfecta, empezando por la forma de líneas aerodinámicas, muy importante por ser su hábitat mucho más denso que el aéreo. El tamaño de estos animales varía entre 8 ó 10 milímetros y 16 metros de longitud, mientras que el peso oscila entre unos pocos gramos y varias toneladas. Unos viven en las frías aguas polares y otros se encuentran en aguas termales de 40º ó 42 ºC. Hay especies que son capaces de cambiar de aguas, adaptándose a las distintas temperaturas. La acomodación a la salinidad no presenta dificultades para algunas, mientras que otras se ven seriamente afectadas por cualquier cambio en la concentración salina. La profundidad y la presión son también factores importantes en la vida de estos vertebrados. La presión interna compensa la externa y la oscuridad de los fondos marinos queda vencida bien con la producción de luz propia, bien con tentáculos hipersensibles, o con ambos procedimientos a la vez. Los peces, basándose en criterios anatomopaleontológicos, pueden dividirse en *placodermos*, *condrioictios* y *osteoictios*.

Placodermos

Sólo quedan restos fósiles de los *placodermos*. Éstos fueron auténticos vertebrados y la diferencia fundamental con las otras clases de peces consistía en una hendidura branquial, modificada para formar un maxilar superior y otro inferior. Tenían también un segundo arco hioideo, soporte de este último maxilar. Se les considera como vertebrados acuáticos pisciformes, además de ser los mandibulados más primitivos. Vivieron en los períodos Silúrico y Devónico.

Condrioictios

Los *condrioictios*, llamados también *elasmobranquios*, son peces de mandíbula móvil, esqueleto cartilaginoso y vértebras separadas, lo que les sitúa en el nivel inferior de los vertebrados. Poseen apéndices en número par y, en relación con los ciclóstomos, suponen un notable progreso, que se caracteriza por la existencia de mandíbula articulada, dientes esmaltados, piel escamosa, conductos semicirculares, dos pares de aletas laterales y cola heterocerca. Se encuentran en todos los océanos y algunos viven en agua dulce. Suelen ser predadores, como los tiburones y las rayas.

Estos peces apenas han evolucionado a lo largo de su historia fósil, desde los lejanos tiempos del Devónico en que, al parecer, surgieron. Esquemáticamente se dividen de la manera siguiente :

ORDEN	SUBORDEN
Cladoseláceos (fósiles)	
Pleuracantos (fósiles)	
Seláceos	{ Escualos Ráyidos

Tiburón. — El tiburón *(Cl. Condrioictios, O. Seláceos, SO. Escualos)* es un pez elasmobranquio, fusiforme, de cuerpo esbelto, con cabeza acabada en morro puntiagudo y boca situada en la cara ventral de la misma. Tiene un cuerpo cubierto de escamas placoideas, con 5 ó 6 hendiduras branquiales, una aleta heterocerca y un endoesqueleto cartilaginoso, con notocordio persistente. Posee los órganos de los sentidos bastante desarrollados y es vivíparo u ovovivíparo en la reproducción. Se han catalogado unas 300 especies de tiburones pertenecientes a varias familias, que viven en los mares de todo el Globo, generalmente en zonas pelágicas, aunque algunas son abisales y otras se encuentran en ríos o en lagos de África o de América tropical. Las más frecuentes son sin embargo las oceánicas de las latitudes tropicales.

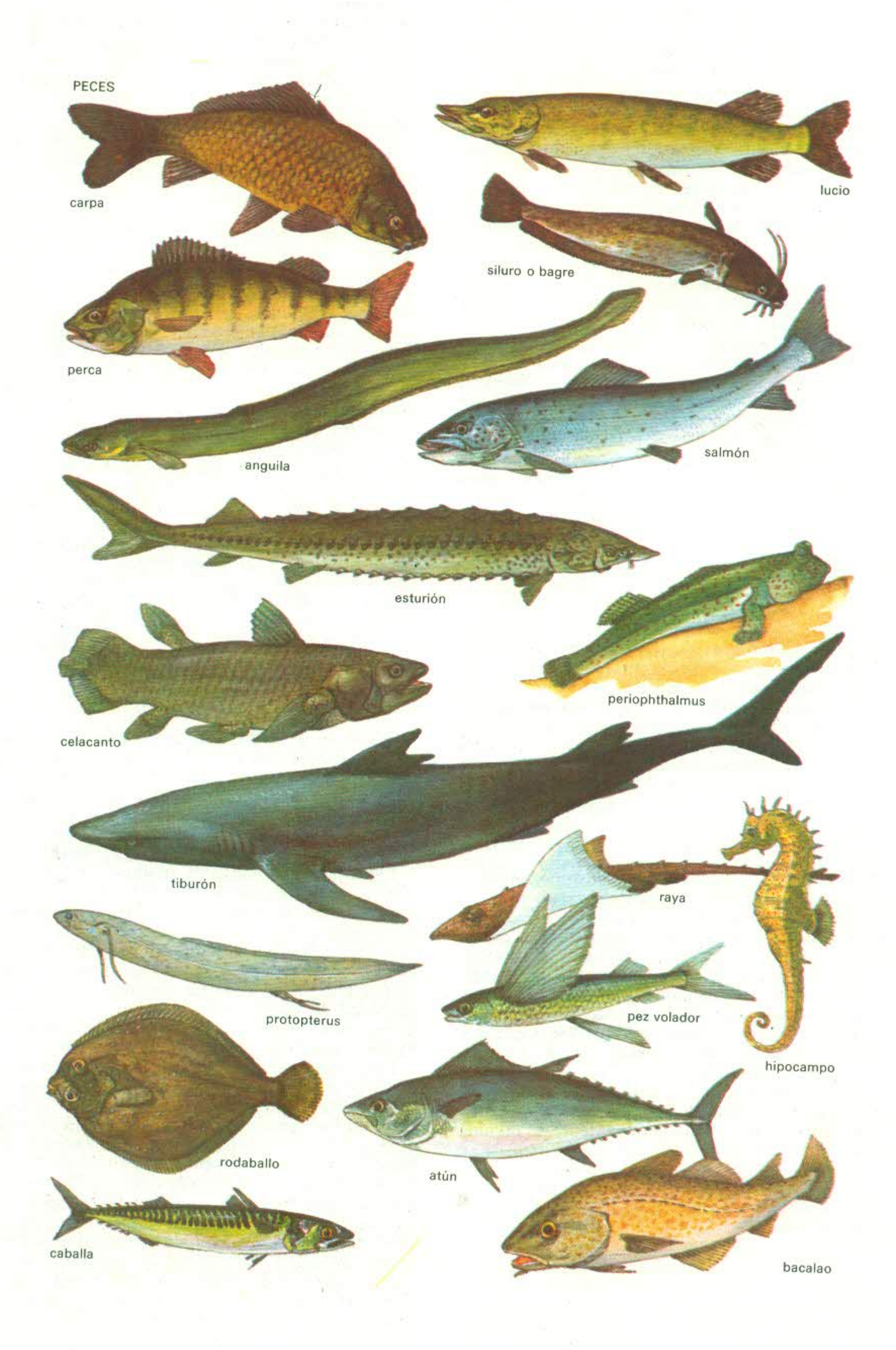
El comportamiento de estos animales varía según las especies y algunas, en ciertos casos, atacan al hombre, aunque con menor frecuencia de lo que se cree. Casi todos los tiburones son carnívoros y alcanzan de 3 a 5 metros de longitud. Entre las distintas clases existentes se pueden mencionar el tiburón ballena *(Rhincodon typus)*, el mayor que se conoce (unos 15 metros), que se encuentra en los mares cálidos del golfo de México; el tiburón boreal o de Groenlandia *(Somniosus microcephalus)*, de color gris oscuro, carente de aleta anal, que en invierno vive a 600 metros de profundidad y en verano se acerca en grupo a las costas septentrionales de Europa; el tiburón feroz *(Carcharias ferox)*, de unos 4 metros de longitud y 300 kilos de peso, que se localiza en el Atlántico y el Mediterráneo y se distingue por el color rojizo de la región dorsal ; el tiburón gris *(Carcharhinus plumbeus)*, de color gris pardo, con el vientre blanco; y los tiburones nodriza *(Ginglimostoma cirratum)*, tigre *(Galeocerdo arcticus)*, toro *(Carcharias taurus)* y jaspeado, que se halla en el Pacífico.

Osteoictios

Según se desprende de la denominación, los *osteoictios* son peces con estructura ósea, como la casi totalidad de los que existen actualmente, y poseen un verdadero cráneo, espina dorsal, costillas en el área torácica, cintura pectoral y una serie de huesos accesorios para el soporte de las aletas. Tienen aspecto fusiforme y están cubiertos de escamas en disposición imbricada.

Estos peces se hallan en cualquier tipo de aguas, tanto salinas como dulces, en todas las temperaturas y a las más diversas profundidades. Algunos migran según las estaciones y otros acuden a las costas o a los ríos para desovar, como los arenques y los salmones respectivamente, o, en sentido inverso, van desde los ríos hasta el mar, como sucede con las anguilas. Algunos reducen la actividad en épocas frías y bajan a los fondos durante la estación invernal. Pueden ser solitarios o de costumbres gregarias.

Los osteoictios se mueven por ondulaciones laterales de la cola y aleta caudal combinadas, mientras que las otras aletas contribuyen al equilibrio y sirven para efectuar los cambios de dirección. La línea fusiforme de estos peces (aunque hay especies con otras formas) facilita el desplazamiento por el entorno líquido y este aerodinamismo se ve reforzado con una secreción mucosa glanduloepidérmica, de consistencia viscosa, que reduce el rozamiento con el agua. La mayoría se reproduce siguiendo ciclos estacionales, particularmente los que viven en aguas templadas, y son ovíparos, salvo un escaso número de vivíparos, con puestas que oscilan entre 60 y 6 millones de huevos. Algunos de estos animales construyen nidos. En ininterrumpida cadena alimentaria, unos peces o sus huevos sirven de alimento para otros. El primer eslabón lo constituyen los que se


PECES
carpa
lucio
siluro o bagre
perca
anguila
salmón
esturión
celacanto
periophthalmus
tiburón
raya
protopterus
pez volador
hipocampo
rodaballo
atún
caballa
bacalao

nutren de plancton (fitoplancton y zooplancton). Para el hombre representan una extraordinaria fuente de proteínas, por lo que se dedican importantes recursos financieros, técnicos y laborales a la captura anual de millones de toneladas y a la explotación industrial de las especies más idóneas para la nutrición, utilizando criaderos con objeto de satisfacer las necesidades cada vez mayores de las poblaciones.

Filogenia. — Los peces osteoictios aparecieron en el remoto período Devónico, hace unos 370 millones de años. Los ejemplares fósiles más antiguos pertenecen al Silúrico. En el transcurso de los tiempos se han originado múltiples formas, por divergencia evolutiva. De los peces se pasó a los animales tetrápodos, de respiración pulmonar y adaptada al medio aéreo. Ya desde el Devónico puede seguirse ininterrumpidamente la línea de los anfibios, que irán, a su vez, evolucionando de las formas iniciales a las actuales. Al llegar el período Carbonífero, en la Era Paleozoica, aparecen los primeros reptiles, anatómicamente iguales a los anfibios, pero que ya pueden desovar en tierra, gracias a unas membranas protectoras del embrión, que les permiten independizarse totalmente del agua. Así, la invasión de la superficie terrestre, a partir de los vertebrados primitivos o peces, se inicia con los anfibios y se continúa a finales del Paleozoico con los reptiles.

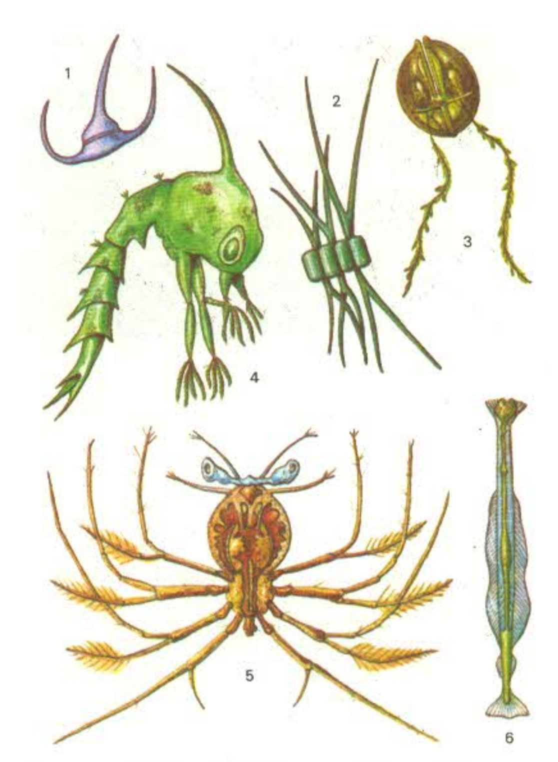
División. — Al ser la clase de los osteoictios la más numerosa entre los peces, los criterios de división han sido varios y los especialistas defienden, a veces, algunos completamente contrapuestos. Se señala, sin embargo, en el siguiente cuadro una de las clasificaciones posibles :

SUBCLASE	ORDEN
Paleopterigios	
Neopterigios	Ganoideos Teleósteos
Coanictios	

La mayoría de los *paleopterigios* son fósiles. Los *neopterigios*, divididos en multitud de órdenes, abarcan la casi totalidad de los peces existentes, entre los que se pueden señalar aquellos que tienen cola heterocerca *(ganoideos)* y los que la poseen homocerca *(teleósteos)*. Los *coanictios* se distinguen especialmente por la intercomunicación buconasal.

A continuación se describirá la perca, pez en el que pueden estudiarse fácilmente los principales caracteres genéricos.

Perca dulceacuícula. — La perca *(Cl. Osteoictios, SCl. Neopterigios)* tiene aspecto fusiforme, hocico puntiagudo y boca mandibulada y dentada. Sobre ésta, se encuentran dos orificios olfatorios, seguidos de un par de ojos laterales, sin párpados, y dos opérculos abiertos. Bajo cada uno de éstos se sitúan dos pares de branquias. Tras la cabeza, limitada por el borde opercular posterior, viene el tronco, que termina junto a la aleta anal cerca de la abertura urogenital y del ano, y le sigue la aleta caudal o cola, que es homocerca, o sea de lóbulos iguales. El pez está cubierto de escamas, formaciones dérmicas redondeadas, sobre las que actúa un *mucus* que facilita los desplazamientos al reducir la resistencia presentada por el agua. Del cuerpo sobresalen unas aletas membranosas, soportadas por radios blandos, flexibles y articulados, que se dividen en dos dorsales, las ventrales, las pélvicas, dos pectorales y la caudal. El sistema esquelético consta de un cráneo, en cuyo interior está el encéfalo, y de una columna vertebral solidaria en la cual se aloja una espina neural. En el tronco, articulándose con las vértebras, una serie de huesos pares hacen el papel de costillas. Completan este sistema una cintura pectoral ósea y un hueso ancho que sostiene la aleta caudal.



Plancton : 1. Ceratium longipes ; 2. Chaetoceros decipiens ; 3. Pleurobrachia pileus ; 4. Inachus ; 5. Filosoma de Palinurus ; 6. Eukrohnia hamata.

Alternando con las vértebras se hallan los miómeros, músculos segmentarios, mayores en la cola y tronco que en la región branquial y cabeza. Una serie de lóbulos (ópticos, cerebelosos y olfatorios) se integra en el encéfalo y, junto a diez pares de nervios craneales y un cordón neural, constituye el sistema nervioso. Los órganos sensoriales alcanzan gran desarrollo : ojos grandes y circulares destinados a la visión cercana, yemas gustativas peribucales y un órgano estatoacústico en el oído interno, que tiene conductos semicirculares y otolito equilibrador. Estos peces poseen también sensibilidad cutánea y fosas olfatorias en el hocico. El aparato respiratorio es de tipo branquial. A cada lado de la faringe se encuentran dos pares de branquias, protegidas por el opérculo y formadas por pequeñas placas de epitelio muy fino y vascularizado. Al penetrar el agua por la boca y dirigirse a los filamentos branquiales, se produce el intercambio gaseoso, es decir la expulsión del dióxido de carbono y la absorción de oxígeno.

Para la circulación existe debajo de la faringe un corazón bicamerado, donde va a parar la sangre venosa, que se regenera, pasando por la aurícula y el ventrículo, hasta llegar a una aorta multirramificada, desde la cual la nueva sangre se distribuye por arterias aferentes que terminan en capilares muy finos. Además de la sangre, más pálida que la de los vertebrados terrestres, hay también un sistema linfático, complemento del anterior.


Fot. Six

Anguila

Puede decirse, por tanto, que estos peces tienen una circulación sencilla, o sea de un solo arco circulatorio, pero completa, al poseer sangre arterial y venosa. El aparato digestivo se inicia en la boca, con dientes cónicos implantados en la mandíbula, y sigue por la faringe, esófago y estómago. En el intestino confluyen los ciegos pilóricos y un conducto biliar, procedente del hígado. Delante de la aleta anal está situado el ano, por donde se vierten los residuos digestivos. Es necesario mencionar asimismo la existencia de un páncreas, poco diferenciado, y de un bazo, integrado éste en el sistema circulatorio. El aparato excretor está centrado en los riñones, adonde llegan los productos de desecho; éstos son separados, gracias a la función renal, y expulsados al exterior a través del uréter y de la vejiga urinaria. Las hembras tienen dos ovarios unidos, que reciben los huevos procedentes del oviducto, y los machos dos testículos, cuyo producto espermático, para salir al exterior, desciende por un vaso deferente hasta la abertura urogenital. Los huevos son generalmente pequeños, con segmentación meroblástica, y se desarrollan, en función del tiempo, de modo variable, influyendo en ello varios factores, principalmente la temperatura.

Otros osteoictios. — Entre los numerosos peces que componen la subclase de los neopterigios, las principales especies de los ganoideos (sa'vo el esturión, que es actual) se desarrollaron durante el Paleozoico y parte del Mesozoico (Jurásico y Triásico).

De entre los teleósteos, se pueden mencionar la murena o morena *(Muraena helena)*, el congrio *(Conger conger)* y la anguila *(Anguilla anguilla)*, los tres de cuerpo alargado y carne muy apreciada; el gobio *(Gobio gobio)*, la carpa *(Cyprinus carpio)* y la tenca *(Tinca tinca)*, de la familia de los ciprínidos, caracterizados por la boca pequeña, sin dientes, rodeada de barbillas; el lucio *(Esox lucius)*, exclusivo del hemisferio boreal, pez de agua dulce de gran voracidad, que puede alcanzar hasta una longitud de un metro e incluso 25 kilos de peso, y es muy apreciado por los pescadores deportivos; el boquerón *(Engraulis encrasicholus)*, el arenque *(Cuplea harengus)* y la sardina *(Sardina pilchardus)*, abundantes en el Mediterráneo y el Atlántico, de gran interés comercial, del mismo modo que los salmónidos, entre los que se destacan la trucha común *(Salmo trutta)*, que vive en los ríos y se cría en piscifactorías, y el salmón común *(Salmo salar)*, con varias especies interesantes, como las de Alaska o del Pacífico, rojo y rosado, cuya carne es exquisita. La particularidad de los salmones es que nacen en los ríos, emigran al mar y, cuando alcanzan la madurez sexual, vuelven a remontar las corrientes fluviales hasta llegar a aguas frías poco profundas donde tiene lugar la reproducción.

Merecen citarse asimismo los peces de forma aplastada, como el pejerrey *(Atherina mochon)*, la platija *(Pleuronectes platessa)* y el lenguado *(Solea solea)*; los de hocico alargado, como el pez espada *(Xiphias gladius)*, la caballa *(Scomber scombrus)*, el bonito *(Sarda sarda)* y el atún *(Thunnus.thynnus)*, que puede alcanzar 5 metros y un peso de 500 kilos, muy utilizados todos éstos por la industria conservera. Tienen que señalarse, por último, los conocidísimos pargo *(Sparus pagrus)*, dorada *(Sparus aurata)*, besugo *(Pagellus centrodontus)*, corvina *(Corvina nigra)*, mero *(Epinephelus gigas)*, que vive entre rocas y puede medir hasta unos 130 centímetros, rape, llamado también pejesapo *(Lophius piscatorius)*, de curiosa configuración, con ancha cabeza y cuerpo aplastado, bacalao *(Gadus morrhua)*, que forma grandes bancos y en la época de la reproducción emigra a Terranova o a Islandia, y merluza *(Merlucius merlucius)*, que abarca varias especies y abunda en las costas atlánticas de la Península Ibérica, Marruecos y Mauritania (África).

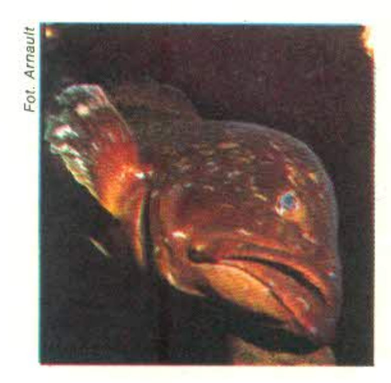
Anfibios

El estudio de los tetrápodos, o vertebrados con cuatro extremidades, que suelen poseer cinco dedos, aunque a veces tienen menos, se inicia con los anfibios.

Los *anfibios* fueron, como ya se indicó, los que empezaron la invasión de la superficie terrestre y, como su nombre indica, viven aproximadamente el mismo tiempo en el agua, de donde surgieron y en la que transcurren las fases larvarias de respiración branquial, y en la tierra, a la que acceden ya metamorfoseados en adultos y con respiración pulmonar. Existen, sin embargo, formas permanentemente acuáticas, siempre en estado larvario, y otras, menos numerosas, cuyo ciclo completo se desarrolla fuera del medio acuático. Poseen un cinturón pelviano, unido a la columna vertebral en el sacro. Los fósiles de estos animales se distinguen de los de reptiles por tener una sola vértebra, en lugar de dos, relacionada con el sacro. El tímpano del oído está conectado por un bastoncillo óseo, a través del oído medio, con el oído interno.

Los anfibios, lo mismo que los peces, sus antecesores más inmediatos, son poiquilotermos, es decir, tienen la temperatura de la sangre igual a la del ambiente. Son los primeros cordados que salieron del agua y ello explica la dotación pulmonar, la intercomunicación buconasal y los órganos sensoriales, funcionalmente hábiles para los dos medios en que viven.

Desde el punto de vista filogénico, fueron numerosos y variados en el Carbonífero (Paleozoico), hallándose


Fot. Arnault

El mero tiene ojos grandes, boca amplia y color castaño rojizo.

formas gigantescas a fines de esta era, pero acabaron desapareciendo en el período Triásico de la Era Mesozoica. Como ya se dijo al iniciar el estudio de los cordados, se derivan de los peces crosopterigios y, desde ellos hasta la actualidad, se conservan abundantes fósiles. Los anfibios pueden dividirse de la manera siguiente :

SUBCLASE	ORDEN
Estegocéfalos	Cecilia
Urodelos	Mutabilia
Anuros	Procoela Diplasiocoela

Estegocéfalos

Los *estegocéfalos* son anfibios ápodos, de aspecto vermiforme, carentes de cintura escapular y pelviana. La mayoría de ellos son fósiles, cuyos restos acreditan que el animal poseía una cubierta craneal completa, en contraste con los anfibios actuales. Estos animales, que reciben comúnmente el nombre de *cecilias*, tienen el cráneo bien osificado, seguido de numerosas vértebras de las que derivan largas costillas en la región anterior, el cuerpo recubierto por una piel lisa, con algunos pliegues transversales y una superficie a veces escamada, los ojos sin párpados y una cola pequeña en el extremo del cuerpo y junto al ano. Viven principalmente en zonas tropicales.

Urodelos

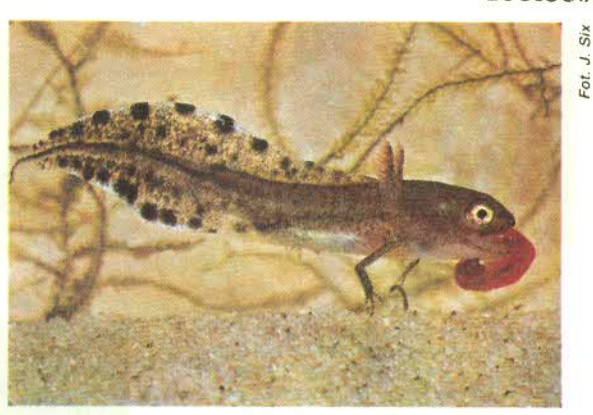
Los *urodelos* son anfibios de variado tamaño, que va desde los 4 hasta los 150 centímetros, en cuyo cuerpo se diferencian perfectamente la cabeza, el tronco y la cola. Tienen extremidades poco hábiles para el salto y dientes en las mandíbulas superior e inferior. En las fases larvarias se asemejan a los adultos. Existe un número reducido de especies y éstas son de fecundación interna gracias a los espermatóforos que libera el macho. El tubo digestivo desemboca en una cloaca, que recibe los productos genitales y de excreción. Las salamandras y los tritones son ejemplos de esta subclase, llamada también, por tener cola, *caudata*.

La salamandra común *(Salamandra salamandra)*, que alcanza a veces unos 30 centímetros, tiene una piel de color amarillo y negro en forma de manchas. Se alimenta de pequeños animales (gusanos, insectos, moluscos, etc.) y vive en lugares húmedos y sombríos. Abunda en Europa, Asia y África del Norte. Segrega unas sustancias tóxicas, pero éstas no son peligrosas para el hombre. La salamandra negra *(Salamandra atra)* es otra especie que se encuentra en las montañas, entre 1 000 y 3 000 metros de altura, mide unos 15 centímetros, es de color negro y puede permanecer inactiva en el suelo durante largos períodos.

Anuros

Los *anuros* son anfibios que carecen de cola y tienen el cuerpo corto, las patas posteriores más desarrolladas que las anteriores y la piel desnuda, con glándulas cutáneas. Los órdenes más importantes son los *procoela* (sapos) y los *diplasiocoela* (ranas).

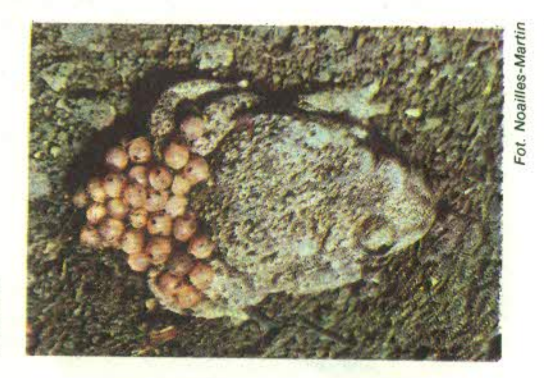
Rana común. — La rana *(Cl. Anfibios, SCl. Anuros, O. Diplasiocoela)* tiene un cuerpo ancho, robusto y sin cola, en el que se distinguen la cabeza, el tronco y las extremidades. Está envuelta en una piel desnuda, viscosa y de tono verdoso, capaz de cierto mimetismo. En el estado larvario, el esqueleto está formado por cartílagos blandos, que se convierten en estructuras óseas al llegar a la edad adulta. Se forma entonces un eje esquelético constituido por el cráneo, la columna vertebral y el esternón, así como unas derivaciones apendiculares. El cráneo, de huesos fijos e inmóviles, tiene forma triangular aplastada, encierra el encéfalo y comunica con la columna vertebral, en cuyo interior se aloja la médula espinal. Las vértebras son 9 y constan de un cuerpo, con hueco interior y las apófisis espinosa y transversa. Antes que éstas se encuentra una curvatura escapular en forma de U, peritorácica y protectora del tórax. Las extremidades superiores son el húmero, el radio-cúbito, los huesos carpales y metacarpales y las falanges (dedos).


Fot. J. Six

Tritón jaspeado, ejemplo de anfibio urodelo.


Fot. Nardin-Jacana

La salamandra suele vivir en lugares húmedos y sombríos.


Fot. Noailles-Martin

Hembra del sapo con sus huevos.







La rana es un anfibio anuro, insectívoro, dulceacuícola y silvestre que está sujeto a metamorfosis. De izq. a der., huevos de la rana, renacuajo, primero con patas traseras y luego con cuatro patas, disminución de la cola, que llega a desaparecer más tarde, y tres ejemplares de este animal ya completamente adulto.





La cintura pelviana se parece a una V y en ella la columna vertebral se une a las patas, cuyos huesos son el fémur, la tibia, el peroné, el tarso (en la parte posterior del pie), el metatarso y las falanges (dedos).

El sistema muscular produce movimientos voluntarios con los músculos de fibra estriada o involuntarios con los de fibra lisa. Casi todos ellos tienen una doble inserción en los huesos y actúan coordinadamente por agrupaciones antagónicas.

El sistema nervioso contiene dos estructuras básicas : la central (encéfalo y médula) y la periférica (nervios cráneo-espinales). En la caja craneal se alojan un par de lóbulos olfatorios, uno de hemisferios cerebrales y otro de lóbulos ópticos; hay después un cerebelo transverso y supramedular, completamente rodeado por dos membranas, una fina piamadre y una gruesa duramadre. Del encéfalo salen diez pares de nervios craneales que comunican con los músculos y los órganos sensoriales. La médula recorre el tubo óseo formado por las vértebras y acaba en el urostilo por un filamento. De ella arrancan diez pares neuroespinales, de aspecto filamentoso y color blanco.

Los elementos sensoriales captan y transmiten a los centros nerviosos receptores todas las variaciones ambientales estimulantes, a las cuales se da la adecuada respuesta mediante impulsos nerviosos de diferente intensidad. Existen complejos sensoriotáctiles, como los gustativos en la boca y los olfatorios en las fosas nasales. El oído capta por el tímpano las ondas y las transmite al oído interno. Los ojos son bastante sensibles y se asemejan a los del hombre, puesto que el globo ocular contiene esclerótica, córnea, coroides y retina (esta última en conexión con el nervio óptico), humor acuoso y humor vítreo. La sensibilidad cutánea reside en una piel delgada que consta de epidermis epitelial y dermis conjuntiva. Algunas glándulas mucosas segregan una sustancia humidificante incolora, y otras glándulas secretoras producen un líquido venenoso que sirve para la defensa. El color de la piel se debe a unos cromatóforos o células pigmentarias.

La respiración se efectúa a través de la piel, de la mucosa bucal y de los pulmones. La piel es capaz de captar el oxígeno del aire y del agua, lo mismo que la boca, revestida de un fino epitelio vascularizado. Los pulmones están formados por un par de sacos elásticos, rodeados también de epitelio y comunicados con la laringe por un bronquio. La función pulmonar consiste en un doble movimiento de inspiración y espiración.

El aparato circulatorio consta de un corazón dotado de ventrículo, dos aurículas, seno venoso dorsal y grueso tronco arterioso. El sistema arterial y venoso, perfectamente desarrollado, lleva la sangre a todos los tejidos; el líquido sanguíneo está constituido por plasma, hematíes, leucocitos y elementos coagulables. Existe también un sistema linfático. La circulación es, por lo tanto, doble (arco mayor y arco pulmonar) e incompleta (dos aurículas y un ventrículo).

El aparato digestivo empieza en la boca, que contiene una lengua, capaz de salir rápidamente y capturar de este modo los insectos, maxilares, dientes finos y unas coanas que comunican con las aberturas nasales externas. Sigue con la faringe, el esófago, el estómago, los intestinos (delgado y grueso) y el recto, constando además de un hígado trilobulado, una vesícula biliar y un páncreas. Estos últimos órganos se fijan en la región dorsal media por dobles capas peritoneales, llamadas *mesenterios.* Las larvas y los insectos constituyen el alimento predilecto de las ranas.

El aparato excretor comprende dos riñones alargados, con múltiples corpúsculos renales y nefrostomas. Los uréteres comunican los riñones con la vejiga y ésta se vierte en la pared ventral de la cloaca.

La reproducción es de tipo gonadal. El macho tiene dos testículos, situados junto a los riñones, y, por unos finos conductos seminíferos, los espermatocitos descienden hacia los vasos deferentes, confluyen en los conductos uriníferos y llegan al uréter, para acabar almacenándose en la vesícula seminal; la hembra posee dos ovarios plurilobulados, que contienen varios miles de huevos de color negro que van a parar o desembocan en la cloaca a través de oviductos.



Rana común.

Reptiles

El nombre de *reptiles* proviene de la forma de moverse que tienen los animales pertenecientes a esta clase, integrada por unas seis mil especies. La gran mayoría vive en la superficie terrestre donde se reproduce. Actualmente los reptiles son escasos y más pequeños, si se les compara con sus antecesores de la Era Mesozoica, en la que eran de dimensiones descomunales y muy abundantes, quizá debido a la mayor protección que tenían sus huevos en aquel entonces. El embrión estaba dotado de una cáscara caliza porosa que lo envolvía por completo y contenía un amnios y un alantoides que impedían la desecación, incluso fuera del agua. La piel córnea y escamosa (llamada reptiliana) diferenciaba completamente estos animales de los anfibios, aunque, como éstos, eran poiquilotermos. La disminución del número de reptiles a finales del Mesozoico es difícil de explicar porque no se tienen datos bastante seguros sobre las causas, pero, según una de las teorías más extendidas, se debió probablemente al profundo cambio de clima que sufrió la Tierra. Éste, al volverse menos cálido, hizo que desapareciesen las principales especies, de las que apenas quedan continuadores. Otra teoría se basa en la competencia vital. En efecto, aquellos gigantes, que dominaban la vida terrestre, acuática y aérea, no pudieron, a causa de los lentísimos reflejos que tenían, luchar ventajosamente contra los mamíferos primitivos que existían en su época, ya que estos últimos estaban dotados de gran combatividad y agilidad, además de ser mucho más prolíficos.

Lo mismo que en el pasado, los reptiles de hoy pueblan las zonas cálidas, ya que carecen de termorregulación corporal (poiquilotermos). En estos climas desarrollan completamente su actividad vital, mientras que los que se encuentran en regiones templadas han de acompasar su vitalidad a las variaciones estacionales. Los animales que estudiamos se sitúan a un nivel superior al de los anfibios por tener mecanismos adaptativos que les permiten vivir en áreas mucho más extensas, un esqueleto osificado por entero y unas extremidades que les dan la posibilidad de desplazarse rápidamente. En lo que se refiere a la circulación, puede observarse en el corazón la separación entre la sangre oxigenada y la que no lo está.

Filogenia. — En el Carbonífero Superior (Era Paleozoica), y a partir de los peces, surgieron los *cotilosaurios* o primeros reptiles. Eran análogos a los anfibios, pero ponían ya los huevos en tierra. Luego comenzó la evolución y el importante desarrollo como phylum independiente, con animales prototípicos y característicos casi exclusivos del Mesozoico, en especial durante los períodos Triásico y Jurásico. Inicialmente no era fácil diferenciar los anfibios de los reptiles pero, al pasar del Carbonífero al Pérmico, las formas de estos últimos sufrieron una marcada evolución que les distinguió de modo estructural y filogénico de los primeros. Sin embargo, el brusco cambio de las condiciones ambientales experimentado por la Tierra durante el Cretácico hizo que desaparecieran casi todas las especies y sólo quedaron una docena de órdenes supervivientes. Éstos, sin embargo, se asentaron en la superficie terrestre y se alejaron casi totalmente del agua. Además, la evolución indicada dio lugar a una importantísima división. La de reptiles adaptados al vuelo (antepasados de las aves) y la de los que fueron origen de los mamíferos.

Las principales series reptilianas conocidas, gracias a los abundantes restos fósiles, son las siguientes :

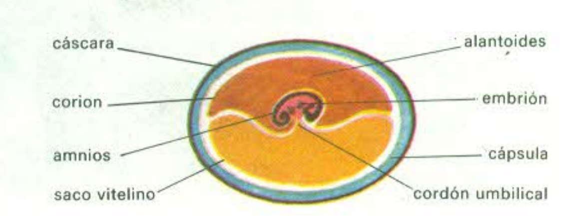
ANÁPSIDOS	del Pérmico (reptiles iniciales o *cotilosaurios*).
ICTIOPTERIGIOS	del Triásico, Jurásico y Cretácico (marinos).
SINAPTOSAURIOS	del Jurásico-Cretácico (que eran asimismo marinos).
ARCOSAURIOS	del Triásico (con un importante orden perteneciente a la primera parte de la división antes mencionada, los *pterosaurios*, reptiles voladores del Jurásico-Cretácico; a finales del Cretácico, los *ornitiscios* serán dinosaurios de gran parecido con las aves).
SINÁPSIDOS	del Carbonífero, Triásico y Jurásico (en los que se evidencia la segunda parte de la división, los *terápsidos*, reptiles semejantes a los mamíferos y origen de éstos).

De este modo, la filogenia de los reptiles conduce directamente a las clases de las *aves* y *mamíferos*, que se describirán más adelante. Los reptiles pueden dividirse de la manera siguiente :

ORDEN	SUBORDEN
Quelonios	
Squamata	Saurios Ofidios
Crocodilios	

Quelonios. — Los *quelonios* son reptiles marinos, terrestres o dulceacuícolas, con el cuerpo encerrado entre dos caparazones óseos unidos lateralmente. En este grupo se incluyen las tortugas y los galápagos. Las láminas óseas del caparazón suelen estar revestidas de placas córneas epidérmicas, como puede apreciarse en la concha de la tortuga. Los cinturones escapular y pelviano presentan la peculiaridad de encontrarse dentro de las costillas. Poseen estos animales un cuello retráctil y ocho vértebras cervicales, extremidades pentadáctiles, que, en las especies acuáticas, se convierten en paletas, maxilares modificados en forma de pico y sin dientes, lengua inextensible y ojos con párpados. Viven generalmente en los mares cálidos y salen para desovar a las costas. Se han hallado fósiles pertenecientes a finales del Pérmico, pero los más abundantes corresponden al Cretácico. Aun cuando han llegado hasta el presente, la supervivencia de estos reptiles resulta bastante difícil dado el valor industrial de la concha y la lentitud en la reproducción.

Existen especies que pesan unos pocos gramos y miden algunos centímetros, mientras que otras alcanzan



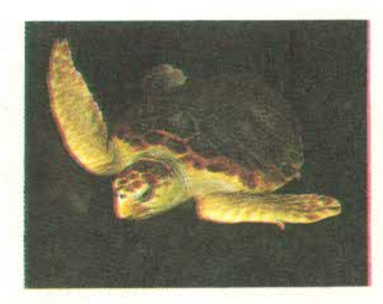
Huevo de reptil con un embrión.



Fot. Six (2). Hétier-Atlas-Photo



Tortuga terrestre.



Tortuga acuática.



Tortuga de las islas Galápagos.

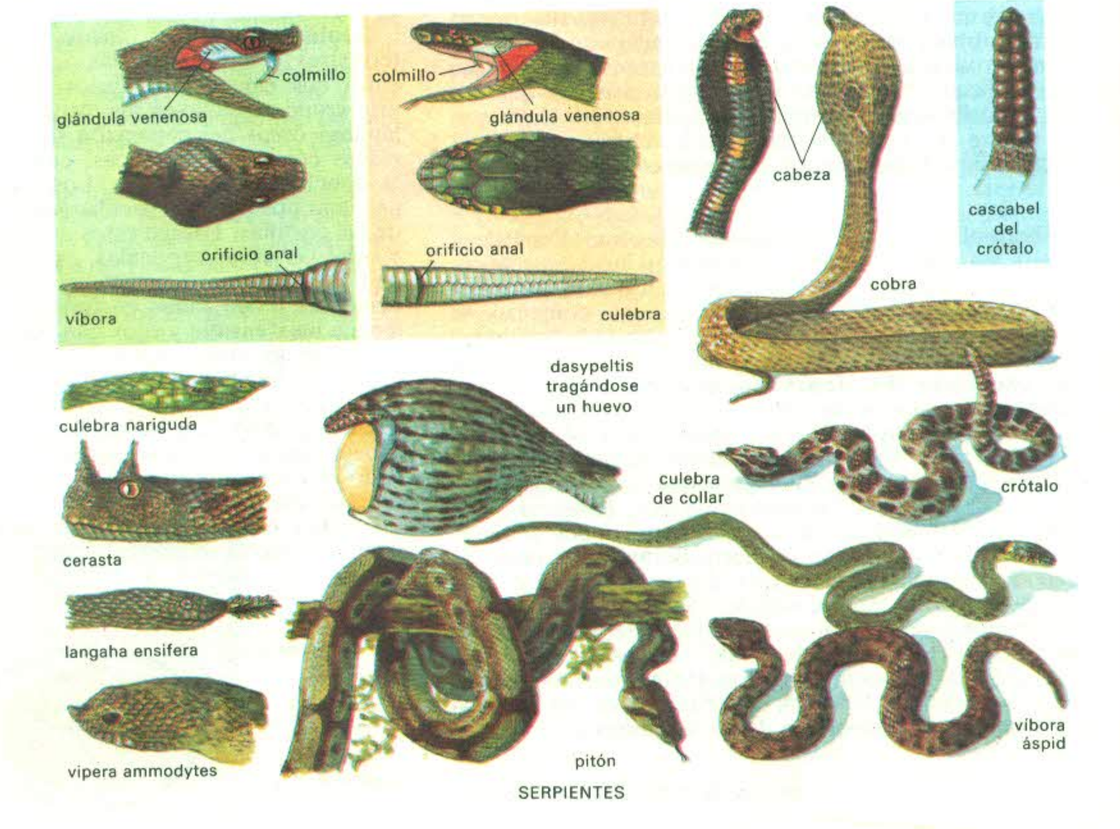
unos dos metros de longitud y hasta media tonelada de peso. Entre ellas se pueden mencionar la tortuga de jardín *(Testudo graeca)*, que vive en la región del Mediterráneo y tiene una longevidad de unos 100 años, la gigantesca de las islas Galápagos (*Testudo nigrita* y otras), la mordedora *(Chelydra serpentina)*, dulceacuícula y terrícola de América Central, la verde *(Chelonia mydas)*, de carne muy apreciada y de gran tamaño, la laúd *(Dermochelys coriacea)*, la tabasco *(Dermatemis mawii)*, de América Central, y la tricarenada *(Staurotypus triporcatus)*, de México y Guatemala.

Squamata. — Los *squamata* o *escamados* constituyen un orden que comprende los reptiles cuyo cuerpo está recubierto de escamas epidérmicas, apoyadas a veces sobre osteodermos. Viven en agua dulce o marina, son cavadores, terrestres y, a veces, arborícolas. Tienen un cráneo diápsido modificado y una boca dentada. Existen desde el Jurásico y se dividen en dos subórdenes : saurios y ofidios.

Los *saurios* o *lagartos*, de tamaño variable, que va desde los cuatro centímetros hasta los tres metros, tienen el cuerpo alargado y las extremidades pareadas, a veces atrofiadas o inexistentes. Poseen párpados y un conducto auditivo, mandíbulas soldadas y cintura pectoral muy desarrollada. Son en general ovíparos, aunque hay algunos ovovivíparos. Suelen alimentarse de insectos. Entre las numerosas especies se pueden mencionar el lagarto verde *(Lacerta viridis)*, el común *(Lacerta lepida)*, ambos corrientes en las regiones mediterráneas de Europa, el ápodo *(Anniella pulchra)*, de California, y el de collar *(Crotaphytus collaris)*, que vive en México y pertenece a la familia de los iguánidos.

Los *ofidios* o *serpientes* son de tamaño muy variado, que oscila entre un centímetro y diez metros. Tienen un cuerpo alargado sin extremidades ni esternón, una piel compuesta por finas escamas imbricadas, unos dientes largos y finos, implantados generalmente en una mandíbula, y una lengua bífida. Los ojos son inmóviles y carecen de abertura auditiva. El pulmón derecho es hipertrófico, es decir, que se desarrolla mucho, mientras que el izquierdo, por el contrario, es atrófico. Estos animales viven sobre todo en las zonas cálidas tropicales y ecuatoriales. Todos son predadores de pequeños ani-

SERPIENTES



males y hay algunos venenosos. Entre los más conocidos figuran la serpiente pitón *(Python reticulatus)*, la boa constrictor *(Constrictor constrictor)*, la anaconda *(Eunectes murinus)*, que alcanzan longitudes de 5 a 10 metros y matan las presas apretándolas entre los anillos, y, en las especies venenosas, la culebra acuática *(Natrix natrix)*, la cobra de la India *(Naia naia)*, causante de numerosas muertes, y, más particularmente, las pertenecientes a la familia de los vipéridos, como la víbora pelíade *(Vipera berus)* y la víbora áspid *(Vipera aspis)*.

Cocodrilo americano. — El prototipo que se va a analizar para estudiar los reptiles es el cocodrilo americano *(Cl. Reptiles, O. Crocodilios)*, habitante de los ríos y selvas colombianas, ecuatorianas y altoamazónicas. Puede encontrarse también en las Antillas Mayores y en los ríos centroamericanos. Es un animal carnívoro, voraz, agresivo y buen nadador. Posee una piel muy apreciada, por lo cual se ha desarrollado mucho la caza del mismo, que amenaza con exterminar totalmente estos reptiles. Tiene un cuerpo alargado, una cabeza acabada en un hocico largo y estrecho, dotada de dos aberturas nasales, situadas en la parte superior, y un fuerte tronco, del que parten ágiles extremidades terminadas por dedos ungulados unidos por membranas interdigitales. La larga cola, muy musculada, concluye en punta y constituye una excelente ayuda natatoria, además de ser usada por el animal para golpear. Toda la superficie corporal está cubierta con una gruesa piel formada por escudos córneos de distinto tamaño y aspecto.

El sistema esquelético consta de un cráneo, rematado en la parte anterior por un hocico con largas mandíbulas multialveoladas donde se alojan numerosos dientes cortantes de forma cónica, que se une a la columna vertebral, cadena ósea que permite dividir al animal en regiones bien definidas : cervical, torácica y abdominal. Completan el esqueleto las dos extremidades anteriores y posteriores, que salen respectivamente del cinturón escapular y del cinturón pelviano. Los músculos, de diversas formas y tamaños, permiten que el animal se mueva en tierra o en agua, y la flexibilidad de la columna vertebral hace que los movimientos sean más amplios y veloces que en los anfibios.

En los hemisferios cerebrales hay dos lóbulos olfatorios y dos ópticos. La médula oblonga, bajo el cerebelo, se estrecha para entrar en los espacios vertebrales y recorrer así todo el eje del cuerpo. En la zona basal del cráneo se encuentra la hipófisis, y cada somita corporal tiene un par de nervios espinales. Doce pares de nervios craneales se distribuyen por todo el cuerpo. La vida activa de los reptiles requiere un sistema sensorial muy desarrollado. El oído, por ejemplo, es ya típico de los vertebrados terrestres; tiene un conducto auditivo externo bajo un relieve cutáneo y está provisto de tímpano, oído medio y oído interno. Los órganos olfativos se hallan situados intranasalmente y los gustativos en las papilas linguales. Los ojos tienen unas glándulas anejas (lagrimales) que permiten a estos animales resistir la sequedad fuera del agua. La acomodación a la visión se consigue mediante deformaciones oculares producidas por músculos de los cuerpos ciliares. Las demás partes del ojo son análogas a lo descrito en los anfibios.

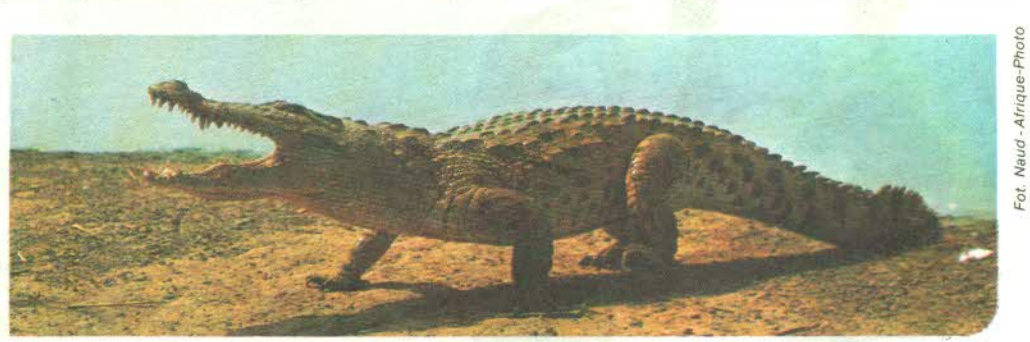
El aparato respiratorio es pulmonar. El aire accede por los orificios nasales a las coanas, u orificios posteriores, y por la glotis a la faringe, desde la cual pasa a la tráquea, tubuliforme y bifurcada en dos bronquios, para llegar a los pulmones. Éstos, envueltos en una membrana serosa, se hallan divididos por *septos* o tabiques internos, mientras que los bronquios se subdividen hasta el nivel de bronquiolos capilares.

La circulación sanguínea se basa en un corazón, situado en la región torácica ventral, que consta de dos aurículas y dos ventrículos, además de un minúsculo seno venoso. La sangre, que contiene plasma, sale por dos arcos aórticos unidos posteriormente en la aorta dorsal. Cuando la sangre arterial se convierte en venosa, vuelve al seno venoso a través de las cavas, de allí pasa a la parte derecha del corazón (aurícula y ventrículo del mismo lado) y luego a los pulmones, donde se efectúa el intercambio gaseoso, y, una vez renovada, llega a la aurícula y ventrículo izquierdos, desde donde se impulsa a las arterias, completándose así el ciclo circulatorio, que es doble y completo.

El tubo digestivo se inicia en la boca, provista de mandíbula, dientes y lengua musculosa. Al final de la faringe empieza el largo esófago, que termina en el estómago. Éste, por la abertura pilórica, comunica con el intestino delgado para acabar en la cloaca y el ano. Hay también un hígado con dos lóbulos y un páncreas. El aparato excretor, constituido por dos riñones, de forma lobulada y aplastada y con un uréter cada uno, va a desembocar en la cloaca. Los cocodrilos carecen de vejiga, mientras que otros muchos reptiles están dotados de ella.

El aparato reproductor de los machos consta de testículos ovoideos, situados cerca de los riñones. Los espermatocitos, a través del vaso deferente, llegan al pene, órgano copulador que sale de la pared ventral de la cloaca. En la hembra, un par de ovarios, próximos a los riñones, se comunica con la cloaca por los oviductos, donde tiene lugar la fecundación. Los huevos, cubiertos de una membrana protectora, se depositan siempre fuera del agua.

Otros crocodilios. — Entre las diversas especies americanas se encuentran los caimanes y los aligatores. El cocodrilo del Nilo *(Crocodylus niloticus)* es conocido desde la Antigüedad; en Egipto llegó a ser venerado en los tiempos faraónicos, y abunda en los cursos de agua de África ecuatorial y tropical. El gavial *(Gavialis gangeticus)*, de hocico largo y delgado, vive en los cursos de agua de la India, especialmente en el Ganges, y llega a alcanzar de cinco a seis metros de longitud.


Fot. Naud - Afrique-Photo

El cocodrilo del Nilo se encuentra en las marismas del África ecuatorial y tropical.

Aves



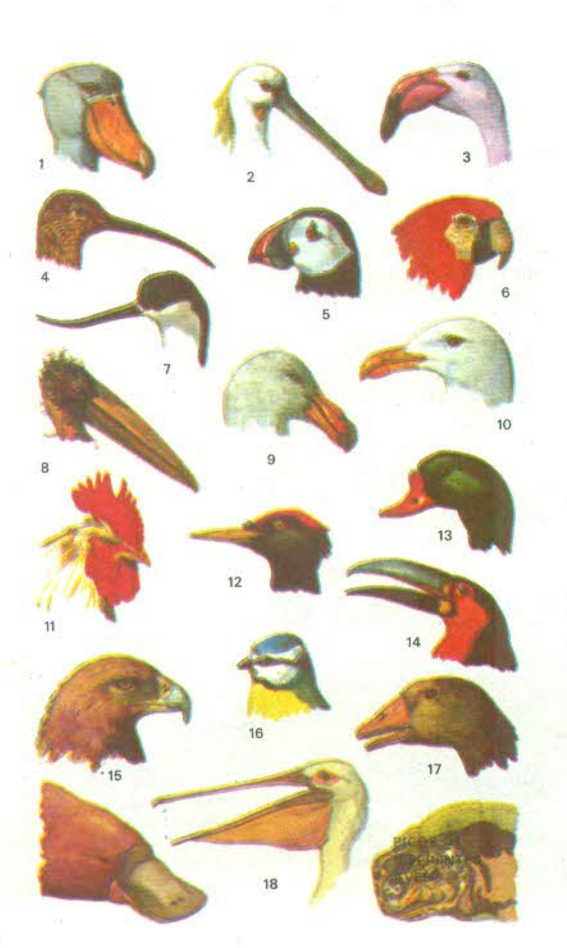
Ala de un ave con las diferentes clases de plumas que la recubren.

Según los paleontólogos, las aves aparecieron cuando, por evolución, se llegó a mantener constante la temperatura corporal. El paso de la poiquilotermia a la homeotermia (temperatura del cuerpo constante e independiente de la ambiental) supone un gran adelanto en la línea evolutiva. Desde un principio pueden distinguirse claramente los reptiles voladores (poiquilotermos) y las aves propiamente dichas, con escamas y formaciones córneas convertidas en plumas y extremidades anteriores en alas. Si a esto se añade la cualidad homeotérmica, se comprende fácilmente que las aves se encuentren en casi todos los rincones del planeta, lo mismo en las costas que en las montañas, selvas e islas de difícil acceso para el hombre.

Las aves se caracterizan, además de la homeotermia, por la reproducción ovípara, la presencia de plumas y la transformación de los miembros anteriores en alas que permiten en general el vuelo. Tienen un tamaño muy variado que se extiende desde los cóndores sudamericanos, con 3 ó 4 metros de envergadura, o el avestruz africano, que puede pesar cien kilos y medir hasta 2,4 metros de altura, hasta el diminuto pájaro mosca antillano, de unos 3 gramos de peso y 5 centímetros de largo. Comparadas con las formas animales vertebradas que les precedieron, las aves son ya un ejemplo de organización perfeccionada. Para la vida activa que llevan, disponen de un sistema muscular muy desarrollado que requiere un gran consumo de energía, un elevado metabolismo y altos índices oxidativos y respiratorios. Un corazón con dos aurículas y dos ventrículos, claramente separados, contribuye eficazmente al mantenimiento de la constancia térmica.

La clase de las aves presenta mucha uniformidad y abarca unas 8 500 especies, cifra que equivale aproximadamente a la tercera parte de las que tienen los peces. Algunas de ellas, importantes para el hombre desde el punto de vista nutritivo, se explotan industrialmente.

Picos de diferentes aves : 1. Balaeniceps; 2. Espátula; 3. Flamenco; 4. Chorlito real; 5. Frailecillo; 6. Papagayo; 7. Avoceta; 8. Marabú; 9. Fulmar; 10. Gaviota; 11. Gallo; 12. Pico negro; 13. Pato tadorna; 14. Tucán; 15. Águila; 16. Alionín; 17. Ganso; 18. Pelícano.



Filogenia. — Se han encontrado en estratos del Jurásico Superior (Baviera, Alemania) los restos de las aves más primitivas, que corresponden a los arqueornites, tan afines morfológicamente a los reptiles. Los fósiles descubiertos posteriormente pertenecen ya al Cretácico y el *ictiornis* norteamericano presenta, junto a caracteres modernos, otros que son netamente reptilianos, como las mandíbulas dentadas y los vestigios de cola. Cabe pensar, refiriéndose a la forma de vuelo, que estos antepasados de las aves practicaron el sistema de planeo, lanzándose al espacio desde alturas a las que llegarían subiendo mediante garras trepadoras. El hecho de poseer auténticas plumas demuestra que habían logrado una regulación homeotérmica como la de las aves actuales.

Escasean los restos del Cenozoico, debido sin duda a la ligera estructura corporal de estos animales, poco adecuada para la fosilización. No obstante, se dispone hoy de documentación suficiente para asegurar que, a partir del Eoceno, estaban diferenciados todos los órdenes conocidos en la actualidad. Se puede añadir que, durante el Terciario, existieron en el continente americano aves gigantescas, casi todas carnívoras, carentes de alas o con alas atrofiadas y dotadas de un gran pico. Entre ellas figuraban la *fororacos* sudamericana, del Mioceno, cuya altura era de unos dos metros, y la *dyatrina* norteamericana, del Eoceno.

División. — Se suelen clasificar las aves, según el pico y las patas que tienen, de la manera siguiente :

CLASE	SUBCLASE
Aves Pájaros	Arqueornites Neornites

La subclase *arqueornites* comprende los fósiles tridáctilos, con metacarpales separados, mandíbulas dentadas y larga cola. Pertenecen al Jurásico Superior. En la

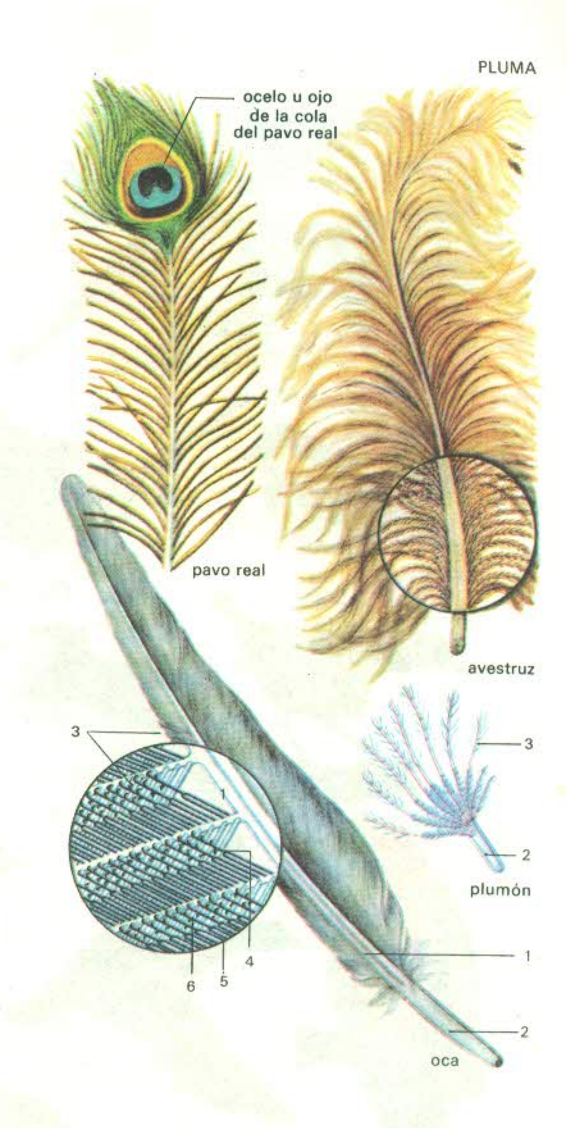

AVES
picamaderos
pinzón
águila real
gorrión
mirlo
gaviota
tridáctila
búho
mirlo de agua
ostrero
golondrina
pájaro
bobo
real
pato de
cabeza verde
papagayo
o ara
kiwi
colibrí
garza
gris
avestruz
♀
pavo real
♂

subclase *neornites* se incluyen ya verdaderas aves, con colas cortas, metacarpales soldados, pocas vértebras caudales y esternón en forma de quilla, que aparecieron en el Cretácico y aún viven en la actualidad. Atendiendo al tamaño corporal, se subdividen en *aves* propiamente dichas (las de mayor tamaño) y *pájaros* (las menores).

En el cuadro esquemático que viene a continuación se señalan algunas características y los ejemplos más importantes de los principales órdenes.

Aves	
CORREDORAS	gran tamaño, patas muy fuertes. pico robusto; no vuelan. Ej., *avestruz, casuarias.*
PALMÍPEDAS	patas con dedos unidos por membrana interdigital, pico aplastado: nadadoras. Ej., *pato, ganso, pelícano, pingüino.*
ZANCUDAS	patas y pico largos; aves ribereñas y de pantano. Ej., *cigüeña, garza, parrajacana.*
RAPACES	patas terminadas en dedos con garras; pico curvo y ganchudo. Ej., *cernícalo, águila, cóndor, buitre.*
GALLINÁCEAS	patas cortas y fuertes; pico corto y duro. Ej., *gallina, perdiz, faisán.*
PALOMAS	patas cortas y pico abultado en la base; muy voladoras. Ej., *tórtola, paloma común, paloma torcaz.*
PRENSORAS	patas acabadas en garras prensoras; pico curvo, corto y ganchudo. Ej., *loro, cotorra.* (Algunas son pájaros de tamaño pequeño.)
TREPADORAS	patas cortas con dedos acabados en uñas; pico duro y fuerte. Ej., *picamaderos* o *pico carpintero, cuco.*

Pájaros	
PASERIFORMES	tres dedos hacia delante y uno hacia atrás para poder posarse en las ramas de los árboles; se dividen en cuatro subórdenes y unas cinco mil especies, todas de tamaño pequeño y con caracteres muy indefinidos. Ej., *vencejo, gorrión, alondra, golondrina, canario, jilguero,* etc. (Algunos se distinguen por el canto.)



1. Raquis; 2. Cañón o cálamo; 3. Barbas; 4. Bárbulas lisas; 5. Bárbulas con garfios; 6. Garfios.

Gallina común. — La gallina común *(Cl. Aves, SCl. Neornites, O. Gallináceas)* es un ave terrestre, de pico pequeño, patas y dedos fuertes, con los que escarba en la tierra, y alas cortas. Las hay de tamaño más o menos grande y con cola de diversas dimensiones según los casos.

El sistema esquelético de este animal hace compatible la rigidez ósea con una estructura ligera, propia para el bipedismo. El cráneo, redondeado y con los huesos soldados, tiene dos oquedades orbitarias y dos mandíbulas, que se prolongan para formar un pico corto. Las vértebras cervicales se articulan con el cráneo, dando así una gran movilidad al cuello. Al conjunto axial, integrado por el cráneo y la columna vertebral, hay que añadir las cinturas escapular y pélvica; la primera de éstas se halla formada por la escápula, el caracoides, la clavícula, el húmero, el radio-cúbito y los huesos carpales; la segunda, bastante ancha, la componen el ilion delantero, el isquion ventral y el pubis alargado, reunidos en una cavidad que aloja el fémur. Más abajo se encuentran el tibiotarso, el peroné, el tarsometatarso y los dedos, tres delanteros y uno posterior, compuestos de varias falanges.

Los músculos, cuyo centro se encuentra en el esternón, no son segmentarios. Entre ellos, los pectorales están especialmente desarrollados para la función del vuelo, pero existen también otros destinados al soporte y a la carrera.

El sistema nervioso consta de un encéfalo, corto y ensanchado, con hemisferios cerebrales y lóbulos ópticos de gran tamaño, mientras que los lóbulos olfatorios son más pequeños. El cerebelo tiene múltiples pliegues y en la médula se hallan los nervios espinales. Los órganos sensoriales están muy desarrollados, y así la vista es aguda, con visión de rápido ajuste y percepción

detallada de los colores, gracias a unos ojos con párpados; el gusto está localizado en el paladar bucal y en la lengua, zonas que tienen numerosas papilas; el oído es completo (externo, medio e interno) y posee una membrana timpánica muy sensible y una trompa de Eustaquio.

Las plumas, esenciales para el vuelo del ave, merecen que se estudien detalladamente. El origen de éstas, similar al de las escamas, es una papila dérmica que deriva al final en una formación córnea. Los polluelos suelen tener para protegerse un *plumón* provisional que desaparece cuando aquéllos abandonan el nido, pero, a veces, persiste en las aves adultas dentro de las plumas coberteras. La parte exterior de la pluma consta de un eje central, llamado *raquis*, desnudo al comienzo *(cañón o cálamo)* y envuelto después en una membrana de la que arrancan formaciones laterales *(barbas)* y *bárbulas* o *barbillas* que se enganchan entre sí. Algunas veces, por ejemplo en el caso del avestruz, las barbas, como el plumón, son libres y no se unen nunca. Otra especie de pluma, propia de las gallináceas, es el *hiporraquis*, que sale de la parte posterior del cañón al unirse el raquis y el cálamo. Las plumas del ave son *remeras* y *timoneras*, en el ala y la cola respectivamente, *coberteras*, repartidas por todo el cuerpo, y *semiplumas*, que, pequeñas y ramificadas, retienen el aire y aíslan del frío. Todas están cubiertas por una sustancia aceitosa que hace que tengan carácter impermeable. Se caen y renuevan en algunas épocas determinadas, por el fenómeno de la muda, y los colores que adoptan se deben a la presencia de diversos pigmentos, aunque los azules se produzcan en general por refracción sobre las células de las barbas.

En la respiración, los conductos nasales de la zona superior de la boca reciben el aire captado por los orificios localizados en el pico y lo llevan a la tráquea, pasando por la *siringe* o conjunto de músculos vocales. Dos bronquios, subdivididos en bronquiolos y circundados por una tupida red vascular en la que se realiza el intercambio gaseoso, conducen el aire a los respectivos pulmones. Esta actividad respiratoria se completa gracias a la existencia de numerosos y finos sacos aéreos en los diversos órganos, e incluso en el interior de los huesos largos, que se llenan de aire y se vacían, siguiendo los movimientos de inspiración y espiración de los pulmones. El canto de las aves se relaciona con la función respiratoria ya que éste se produce cuando, de manera voluntaria o refleja, el aire pasa por los músculos de la siringe provocando una vibración de tono variable y capaz de alcanzar distintas notas más o menos armoniosas.

El corazón, con dos aurículas y dos ventrículos, constituye el centro del aparato circulatorio. Hay una completa separación entre la sangre arterial y la venosa, por lo que se puede afirmar que la circulación de las aves es doble y completa. El sistema vascular está muy desarrollado : la aorta sale del ventrículo izquierdo, se divide en vasos menores y éstos se subdividen en capilares venosos que inician la circulación de retorno. La confluencia de las múltiples venas acaba formando otra, más gruesa, que entra en el corazón por la aurícula derecha para terminar el gran arco circulatorio corporal. Luego se verifica el arco circulatorio cardiopulmonar por el ventrículo derecho, pulmones, bronquiolos, donde se realiza el intercambio gaseoso, aurícula izquierda y, de nuevo, ventrículo izquierdo, comenzando así otro ciclo circulatorio. Todo este proceso se efectúa a mucha velocidad debido a la ya mencionada intensa actividad metabólica. La composición de la sangre es ya la típica de los grandes vertebrados.

El aparato digestivo comienza en la boca, con una lengua fina y puntiaguda, sigue por una corta faringe y un esófago tubuliforme para acabar en el buche, cuya misión es humedecer el alimento antes de que llegue al estómago. En éste actúan los jugos gástricos. El bolo alimenticio va posteriormente a la molleja, órgano discoidal y musculoso que desempeña una función molturadora al carecer las aves de sistema dentario. Esta labor se ve facilitada por unas piedrecitas que el animal traga por tal motivo. Los alimentos se dirigen más tarde al intestino, a dos ciegos, al recto, a la cloaca, en la que confluyen los desechos fecales, renales y genitales, que son expulsados por el ano. Completan el aparato digestivo un páncreas, cuyos triples conductos desembocan en el intestino, y un hígado de gran tamaño, de color rojizo y con dos lóbulos. De esta víscera hepática salen las secreciones hacia una vesícula biliar, provista de dobles conductos secretores.

El aparato excretor, formado por dos riñones trilobulados que poseen un uréter cada uno, comunica directamente con la cloaca y hace innecesaria la presencia de una vejiga. Como ya se ha dicho, la orina se mezcla en la cloaca con las heces.

El aparato genital femenino consta de un ovario, situado cerca del riñón izquierdo, seguido por el infundíbulo del oviducto, que se dirige hacia la cloaca. Durante la época de la puesta, este conducto se ensancha particularmente. Los óvulos maduros salen del folículo, llegan al infundíbulo y luego descienden por el oviducto, en cuya zona superior se verifica la fecundación. En el útero se forman después las membranas y la cáscara del huevo para concluir la constitución de éste. Los machos poseen dos testículos ovoideos, cuyo esperma desciende por conductos deferentes, se almacena en la vesícula seminal y pasa a la cloaca. La cópula se realiza mediante un pene y, en las aves que carecen de él, por la unión de macho y hembra con objeto de evacuar los productos seminales de la cloaca masculina a la femenina. Después de la puesta de huevos fecundos hay un período de *incubación* de éstos, de 19 a 21 días, durante los cuales se produce una serie de transformaciones celulares del vitelo germinativo, mientras que el nutritivo alimenta al embrión, cada vez más desarrollado. Al terminarse las reservas nutricias, el huevo hace eclosión y sale al exterior un polluelo, protegido por el plumón. Desde este momento, la hembra, y a veces también el macho, procura favorecer por todos los medios el desarrollo y crecimiento de los recién nacidos, que pronto alcanzan un estado de madurez para iniciar una vida autónoma.

Los gallos y gallinas de raza leghorn tienen la carne de amarillo y, según la variedad, distintos plumajes.


Fot. Lauros - Atlas-Photo

Mamíferos

El nombre de *mamíferos* se debe a las glándulas mamarias que poseen las hembras de esta clase para alimentar a las crías; el líquido segregado es la leche, extraída por los recién nacidos mediante la succión de las mamas. Estos animales, considerados como grupo, presentan multitud de caracteres que los definen y diferencian entre los demás animales vertebrados. Además de las mamas, poseen otras glándulas, las sudoríparas y las sebáceas, distribuidas por todo el cuerpo; también tienen pelo, con excepción de la ballena y alguna otra especie. La homeotermia o regulación de la temperatura corporal con independencia de la que tenga el ambiente existe en ellos lo mismo que en las aves. Se pueden mencionar también la respiración diafragmática, la presencia de tres huesecillos en el oído medio para unir el tímpano y el oído interno, la mandíbula inferior de un solo hueso y los cóndilos occipitales pareados.

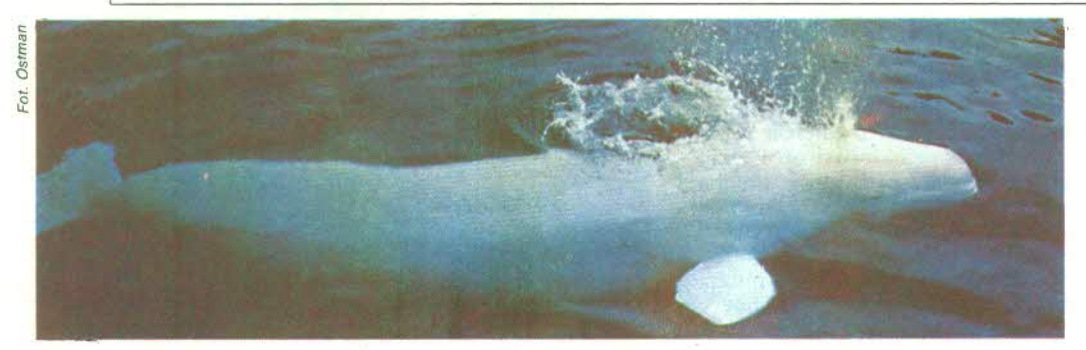
Los mamíferos, que constituyen el nivel más alto entre los animales, en cuyo vértice superior se encuentra el hombre, aparecieron hace relativamente poco tiempo, si se tiene en cuenta el larguísimo proceso evolutivo temporal que va desde los unicelulares más sencillos, del Cámbrico o Precámbrico, hasta sus primeros antepasados de finales del Mesozoico. A pesar de ello, este grupo ha sido muy rápido en diversificarse, en adaptarse y en ocupar los hábitats más variados. Entre las formas premamíferas del Mesozoico y el final del Terciario transcurre un tiempo relativamente breve, si se compara con los millones de años en que otros seres vivos apenas conocieron variaciones evolutivas.

División. — Se suelen dividir los mamíferos en tres grandes subclases : *prototerios*, *metaterios* y *euterios*. En la práctica, esas subclases se conocen más frecuentemente por los nombres de algún orden característico que hay en ellas y se puede hacer la clasificación de la manera indicada en el cuadro siguiente :

SUBCLASE	ORDEN
Prototerios	Monotremas
Metaterios	Marsupiales
Euterios	Placentarios

La ya extinguida subclase de los aloterios tenía sólo un orden mal definido y, por tanto, no figura en este cuadro. Muchos tratadistas no consideran a los monotremas, marsupiales y placentarios como órdenes, sino como subclases, y la clasificación propuesta es objeto de discrepancias entre zoólogos y taxonomistas. La división puede basarse en el carácter reproductor de los mamíferos, mostrando asimismo la progresión evolutiva de éstos, y considerar como prototerios los que ponen e incuban un huevo (equidna, ornitorrinco), metaterios los que carecen de placenta y tienen un marsupio abdominal (canguro, zarigüeya) y euterios los demás mamíferos placentarios. Estos últimos se dividen así :

SUBCLASE	ORDEN	SUBORDEN	FAMILIAS Y ESPECIES
Euterios unguiculados (con uñas)	Insectívoros	Voladores	murciélago, vampiro
		Cavadores	topo, erizo
		Desdentados	armadillo, oso hormiguero
	Carnívoros	Terrestres	Cánidos : lobo, perro Félidos : gato, tigre
		Acuáticos	foca, morsa
	Roedores	Esciúridos	ardilla
		Múridos	ratón, rata
	Omnívoros	Primates	Póngidos : gorila, orangután Simios : mono, chimpancé
Euterios ungulados (con pezuñas)	Digitígrados	Perisodáctilos	caballo, asno, cebra, tapir
		Artiodáctilos	jirafa, llama, camello, ciervo
	Rectígrados	Proboscídeos	elefante
Euterios pinnados (con extremidades convertidas en aletas)	Sirénidos		manatí, dugongo
	Cetáceos		delfín, ballena, cachalote



Fot. Ostman

El delfín vive en los mares templados y cálidos.



Carnívoros : 1. Gato de algalia; 2. Oso; 3. Glotón; 4. Tejón; 5. Licaón; 6. Panda; 7. Hiena; 8. Nutria; 9. Onza; 10. Gato cerval; 11. Armiño.

Con arreglo a esta clasificación, se puede elegir como prototipo al gato común, animal doméstico muy generalizado en todo el mundo, que se describirá detalladamente.

Gato común. — El gato común *(Cl. Mamíferos, SCl. Euterios, O. Carnívoros, F. Félidos)* es de cuerpo pequeño, garras de forma curva y colmillos afilados, que le convierten en hábil cazador, gracias también a su agilidad. Se alimenta principalmente de pájaros y pequeños mamíferos, cuando vive en libertad, y con leche, pescado y carne si ha sido domesticado. Animal sumamente inteligente, que llegó a ser incluso objeto de culto en la antigua civilización egipcia, se le ha considerado como compañero del hombre desde los tiempos prehistóricos y es gran enemigo de los roedores dañinos.

El sistema esquelético del gato es óseo, con cartílago en las articulaciones. El cráneo, redondeado y con los huesos unidos por sólidas suturas, tiene una serie de orificios en los que se alojan el oído, los ojos, la boca y el encéfalo, donde la médula comunica con el tubo espinal dividido en vértebras. Éstas, de diferentes formas y con discos que las separan unas de otras, dan nombre a varias regiones (cervical, dorsal, lumbar, sacra y caudal). En la parte ventral se encuentra un esternón en el que se insertan las costillas para constituir la caja torácica. Dos cinturas completan el conjunto esquelético : la anterior o escapular, que consta de clavícula, escápula, húmero, radio, cúbito y huesos carpianos y falangianos, y la posterior o pelviana, con los huesos isquion, ilion y pubis, que están soldados entre sí. En esta última se introduce la cabeza del fémur. Otros huesos de las extre-

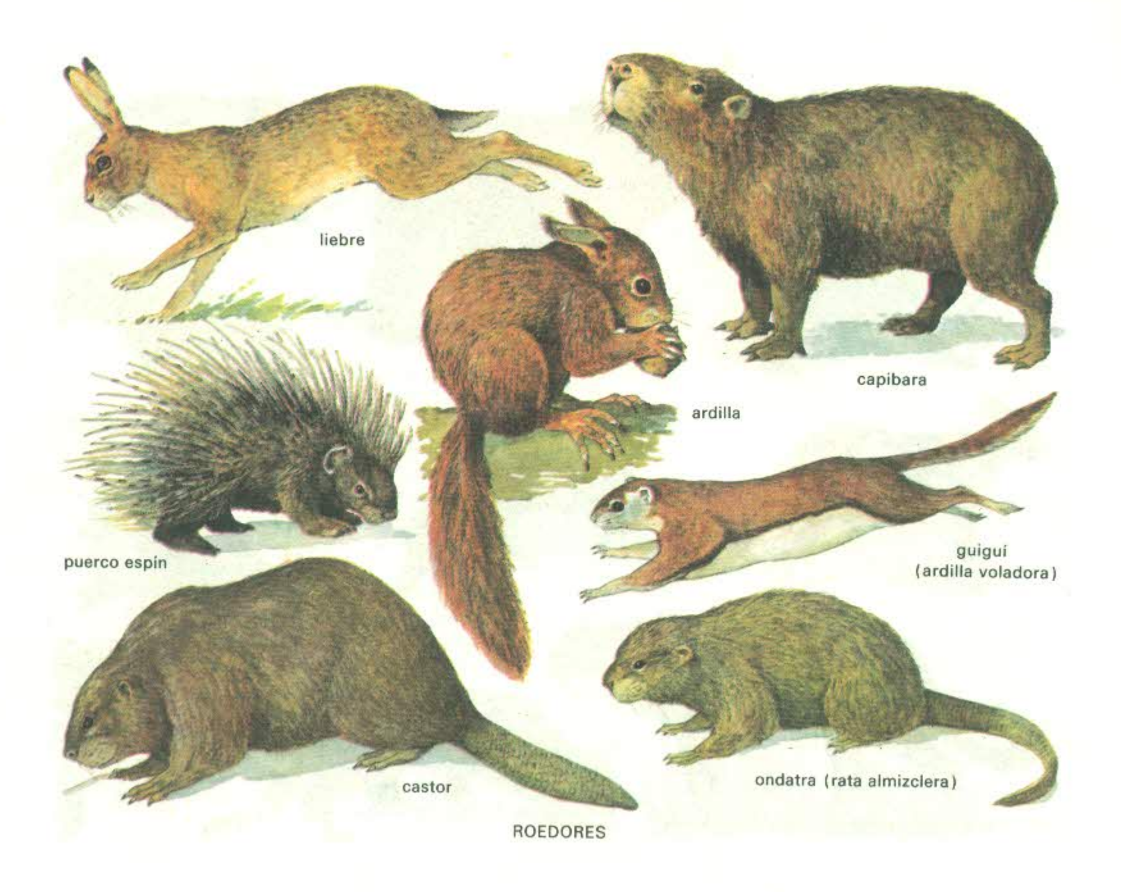


El murciélago es un animal nocturno.

Fot. Noailles



DESDENTADOS.



midades inferiores son la tibia, el peroné, los tarsianos, los metatarsianos y los falangianos. Los huesos caudales, continuación de la columna vertebral, forman la cola del animal.

La piel, cubierta de pelos de muy variadas coloraciones, envuelve todo el cuerpo. Cada pelo crece en una papila pilosa en cuyo folículo, que posee también un músculo erector, convergen las glándulas sebáceas, productoras de una secreción lubricante.

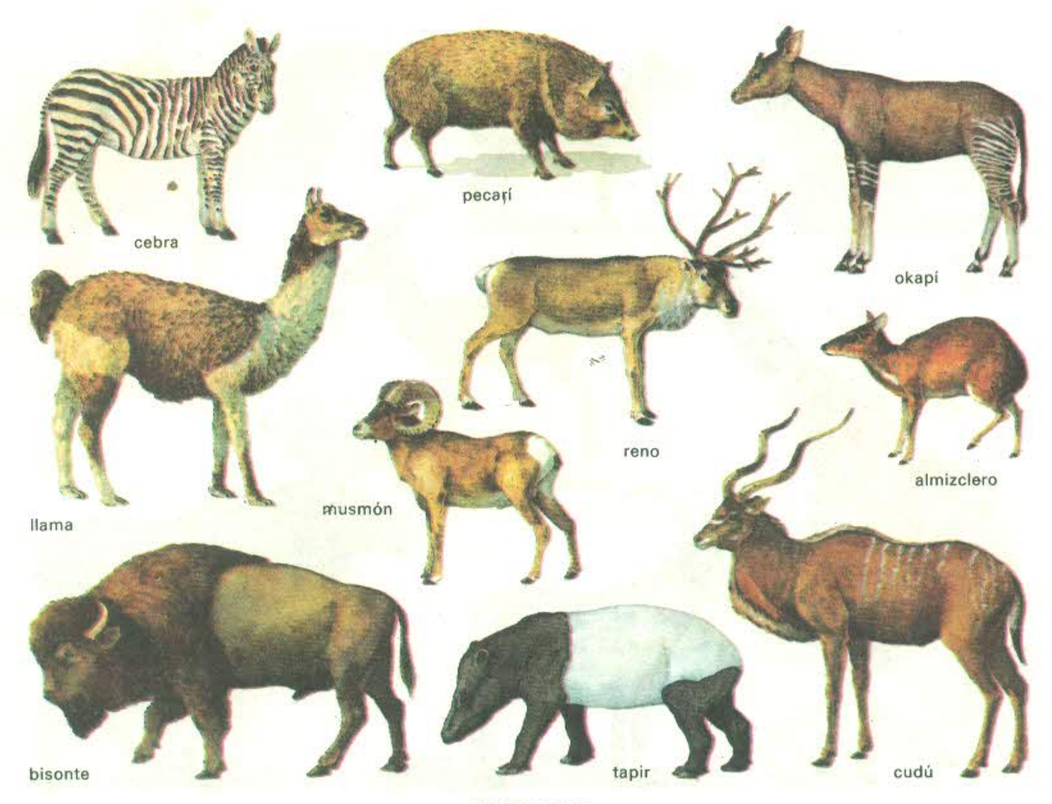
El gato, con músculos especializados en la cabeza, cuello y extremidades, y segmentarios en el resto del cuerpo, dispone de un sistema muscular más desarrollado que el de los vertebrados descritos anteriormente. La cavidad torácica y la abdominal están separadas por un tabique muscular.

El encéfalo, órgano central del sistema nervioso, consta de grandes hemisferios cerebrales unidos interiormente, como en los demás mamíferos, por fibras transversales del cuerpo calloso, debajo de los cuales se encuentran el istmo encefálico, los lóbulos olfatorios, el cerebelo y el bulbo raquídeo, de donde parte la médula. Ésta sale de la caja craneana a través del *foramen magnum* del occipital y penetra en el conducto vertebral. Existen también doce pares de nervios craneales y dos nervios espinales en cada vértebra. Los troncos del sistema simpático están en posición subventral.

Los órganos sensoriales se componen de los ojos, luminiscentes, capaces de ver en la oscuridad y protegidos por párpados bordeados de pestañas, de los oídos, con un pabellón externo u oreja movible y orientable, y

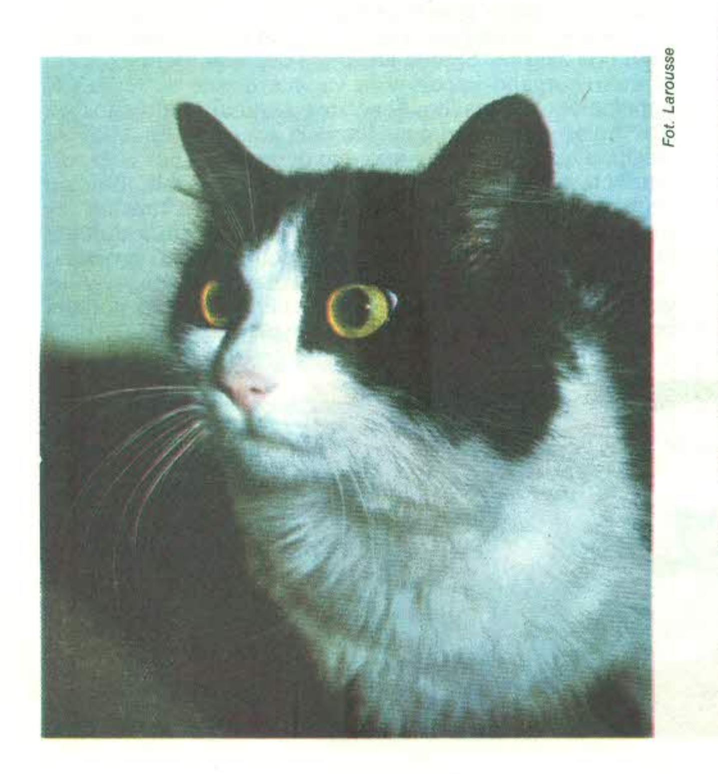


Esqueleto y cabeza de gato, mamífero félido, enemigo de los roedores dañinos y casi siempre domesticado, que fue objeto de culto en ciertos países en la Antigüedad.



UNGULADOS



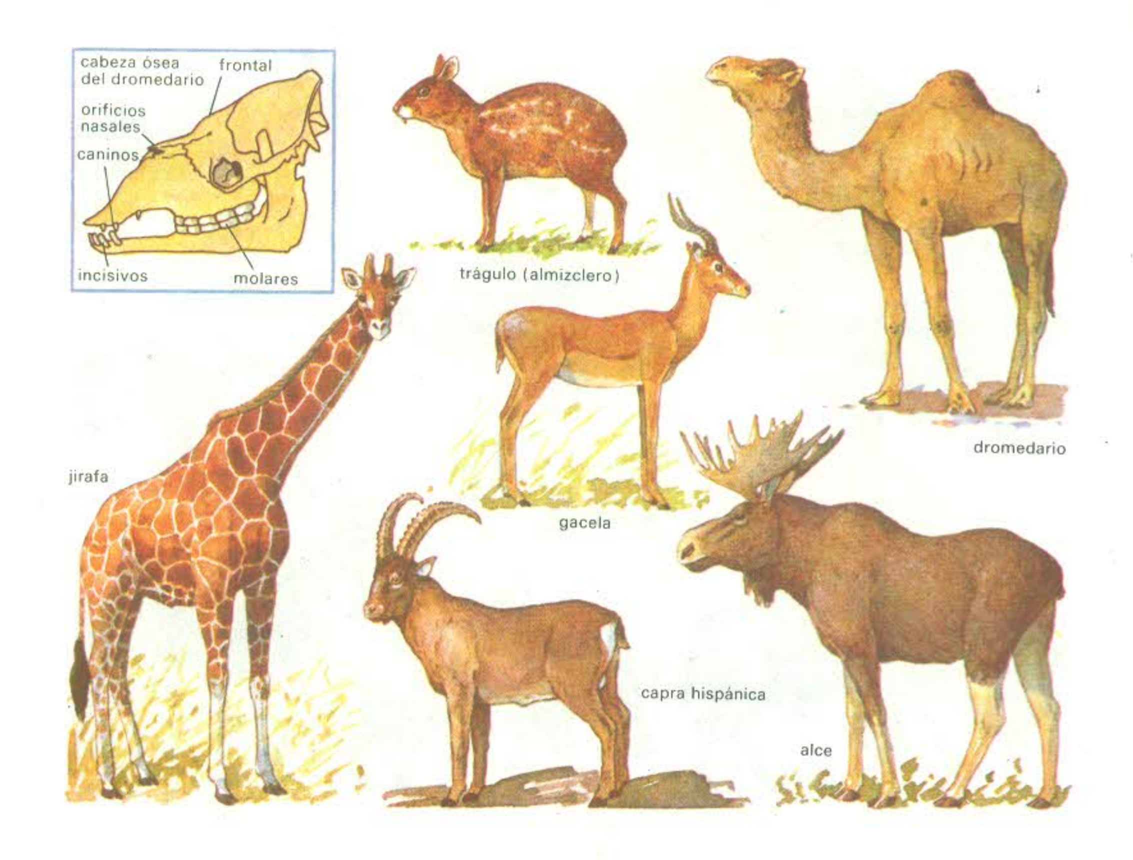


del órgano del olfato, sentido ampliado gracias a unos pelos largos o bigotes situados lateralmente. El oído es particularmente sensible y posee un órgano del equilibrio muy desarrollado que permite al animal caer siempre de pie. El almohadillado plantar amortigua el ruido de los pasos para que el animal pueda desplazarse de modo silencioso. Las afiladas uñas son retráctiles y la salida de la posición interdigital se debe a la acción de un músculo especial.

El aparato respiratorio comienza en los orificios nasales, de donde el aire pasa a la faringe y a la laringe. Las cuerdas vocales situadas en esta zona permiten al gato emitir maullidos. Después está la tráquea, bifurcada al final en dos bronquios, uno para cada pulmón. Estos últimos están exteriormente envueltos por una pleura y en el interior por un fino peritoneo. La inhalación y la espiración, movimientos rítmicos pulmonares, se efectúan por la acción conjunta del diafragma y de los músculos intercostales y producen el continuo intercambio gaseoso en los alvéolos.

El sistema circulatorio es doble y completo, lo mismo que en las aves, y tiene idéntico ciclo. Las arterias llevan la sangre oxigenada que sale del corazón, y las venas transportan la sangre cargada de dióxido de carbono.

En la boca, con labios, glándulas salivares y gustativas, lengua, encías y dientes, comienza el aparato digestivo. El sistema dentario del gato está constituido por piezas destinadas a cortar, rasgar y triturar los alimentos, y cada una de ellas, fijada en el alvéolo maxilar, consta de una parte externa, llamada *corona*, y



RUMIANTES

de otra, cubierta por la encía, que recibe el nombre de *raíz*. En el interior de la primera, protegida por un esmalte o *dentina*, se halla la *pulpa*. La raíz se fija al alvéolo maxilar mediante un cemento. Los dientes, según la forma, posición y función, se dividen en *incisivos*, *caninos*, *premolares* y *molares*. Tras la boca se halla el tubo digestivo, formado por la faringe, el esófago, el estómago, que empieza en el cardias y acaba en el píloro, el duodeno, los intestinos delgado y grueso, el recto y el ano. El gato tiene un ciego sin apéndice vermiforme, a diferencia del hombre y otros mamíferos. El hígado y el páncreas, muy voluminosos, completan la función digestiva.

La acción excretora se centra en el aparato renal, purificador continuo de la sangre, a la que libera de los residuos metabólicos por medio de los uréteres. Éstos desembocan en la vejiga urinaria, que expulsa las sustancias de desecho por un conducto único, la uretra, hacia la abertura urogenital.

El aparato reproductor consta en la hembra de dos ovarios, situados tras los riñones, que envían las secreciones a los oviductos a través de un infundíbulo lateral (uno por ovario). Siguen luego los cuernos uterinos hasta el útero, órgano impar, y la vagina, donde se realiza la copulación. El macho tiene dos testículos alojados en una bolsa intraabdominal llamada escroto. En ellos se originan los espermatozoos, que descienden por el espermaducto, llegan a la base uretral, de doble función urinario-genital, y de allí al pene, cuya misión es introducir el esperma en la vagina de la hembra durante la copulación. Completan este conjunto la próstata, situada inmediatamente bajo el cuello de la vejiga, y las glándulas de Cowper, que se encuentran alrededor del bulbo de la uretra e impulsan el esperma.

Fot. Larousse



Gata siamesa amamantando a sus crías.

Filogenia. — Los fósiles más remotos de mamíferos proceden del Triásico Superior y resulta difícil diferenciarlos de los teromorfos, de los que surgieron por evolución. De estos últimos, muy abundantes desde el Pérmico, último período de la Era Paleozoica, hasta el Triásico, al principio del Mesozoico, se encuentran restos en África austral y todos tienen caracteres anatómicos, tanto en el cráneo como en la dentición, que les califican como verdaderos antecesores de los mamíferos. Escasean, sin embargo, los fósiles de los mamíferos mismos, sobre todo de los implacentados (como los marsupiales), y sólo se han hallado algunos de insectívoros que vivieron a finales del Cretácico. A principios de la Era Terciaria o Cenozoica existen ya mamíferos placentados que abarcan todos los órdenes conocidos actualmente y se han descubierto en América del Sur importantes fósiles de desdentados y marsupiales.

Los rumiantes. — Conviene señalar las peculiaridades que presentan los mamíferos rumiantes en el aparato digestivo, muy diferente del de los demás animales de esta clase.

Excluyendo el tramo inicial (boca y esófago) y el final (intestinos delgado y grueso), que son análogos a los del prototipo estudiado, el estómago de los rumiantes se compone de una *panza*, compartimiento voluminoso en el que los alimentos, apenas premasticados, se almacenan y sufren una especie de predigestión con la intervención de bacterias que fermentan la celulosa y la transforman enzimáticamente en glucosa antes de pasar a la *redecilla*, cuya acción mecánica los impulsa de nuevo hacia la boca, donde por segunda vez se mastican e insalivan. Este proceso recibe el nombre de *rumia*. Acabada esta segunda masticación, el alimento llega directamente, a través del esófago, al *libro*, pequeño divertículo, cuya pared interna tiene repliegues laminados, a partir del cual se dirige al *cuajar* o verdadero estómago, donde se verifica la digestión, es decir, las mismas operaciones que en los demás mamíferos y, desde allí, el bolo alimenticio sigue también idéntico trayecto : intestino delgado, intestino grueso, recto y ano, por el cual se expulsan las heces. Todo lo descrito anteriormente puede esquematizarse de la siguiente manera :

Boca → panza → redecilla → boca
→ libro → cuajar o estómago → intestinos

Entronque filogenético de la especie humana. — Reviste sumo interés encontrar el entronque filogenético de los *homínidos*, o especie humana, cuyo estudio morfológico se hace en el capítulo posterior, titulado *Antropología*, a partir de los antepasados más remotos.

El siguiente cuadro muestra esquemáticamente los tiempos transcurridos, las eras geológicas y las formas de vida, con lo que se completa y sitúa lo explicado sobre filogenia de los mamíferos y al mismo tiempo se puede observar el origen de la especie humana. Se encuentra entre paréntesis el número de millones de años correspondiente a cada período :

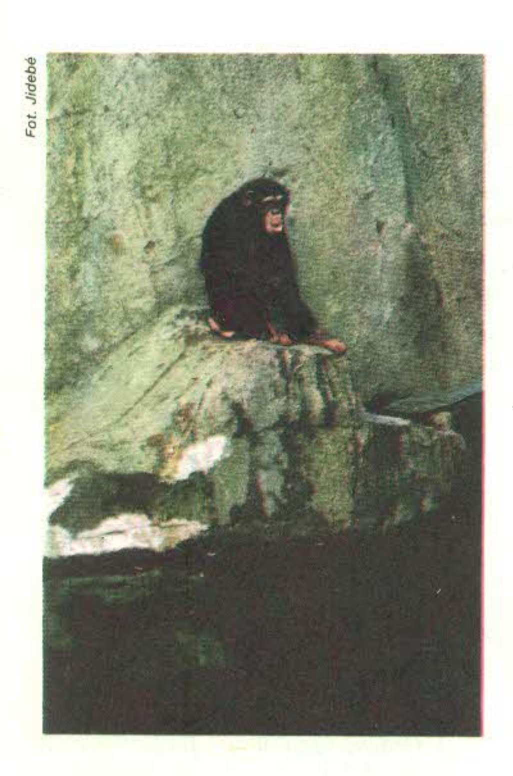
ERAS	PERÍODOS	ANIMALES CARACTERÍSTICOS
Cenozoica	Cuaternario (2)	Hombre
	Terciario (63)	Mamíferos
Mesozoica	Cretácico (71) Jurásico (54) Triásico (35)	Aves Reptiles
Paleozoica	Pérmico (55) Carbonífero (65)	Anfibios
	Devónico (50) Silúrico (35)	Peces
	Ordovícico (70) Cámbrico (70)	Invertebrados marinos
Precámbrica	Proterozoica (400) Arqueozoica (600)	Vida primaria

Este cuadro fue propuesto en el Simposio de Geología que se celebró en 1960 en Nueva York. Posteriormente ha variado algo, debido a nuevos hallazgos y dataciones más recientes, y por eso los valores numéricos de cada período deben considerarse como aproximados.

El cuadro siguiente alude más particularmente a la especie humana. Se ha elaborado mediante la superposición de los distintos grupos animales a las dataciones geológicas correspondientes y en él las cifras indicadas entre paréntesis representan la duración en millones de años, el signo – las temperaturas inferiores a 0 ºC, propias de las glaciaciones, y el signo + las temperaturas de los períodos interglaciares :

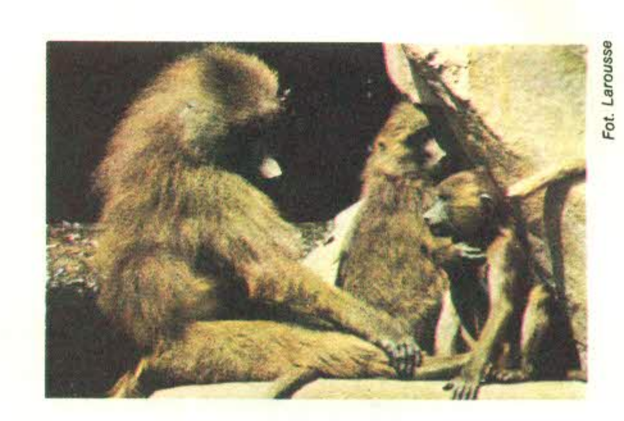
ERAS	PERÍODOS	ÉPOCAS	SUBDIVISIONES	GLACIACIONES E INTERGLACIACIONES EN EUROPA	OTROS DATOS			
Cenozoica	Cuaternario (2)	Holoceno (0,025)	Superior	4ª Wurm	–	*P*	*HOMBRE*	*Prehistoria*
				int. Riss/Wurm	+	*R*		
		Pleistoceno (2)	Medio	3ª Riss	–			
				int. Mindel/Riss	+	*I*	*H*	
				2ª Mindel	–	*M*	*O*	
			Inferior	int. Günz/Mindel	+	*A*	*M*	
				1ª Günz	–		*Í*	
	Terciario (63)	Plioceno (11) Mioceno (14)	Neógeno			*T*	*N* *I*	
		Oligoceno (10) Eoceno (15) Paleoceno (13)	Paleógeno			*E* *S*	*D* *O* *S*	
Mesozoica	Cretácico (71)							

Fot. Jidebé



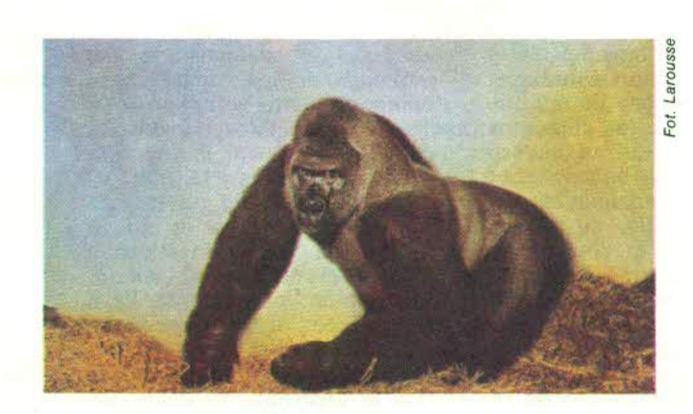
Chimpancé.

Fot. Larousse



Mono zambo o babuino.

Fot. Larousse



Gorila.

Consideraciones sobre los primates. — En la clasificación general de los mamíferos se hizo ya una subdivisión de los primates, que constan de tres subórdenes : *lemúridos, társidos* y *antropoideos*. En el siguiente cuadro se ofrece un estudio más amplio de los antropoideos. A la vista de este esquema se comprende el interés que representa conocer los primates, nexo de unión entre la Zoología y la Antropología.

Antropoideos

SUPERFAMILIAS	CARACTERÍSTICAS Y EJEMPLOS
Platirrinos	tabique nasal ancho; tamaño pequeño; centro y sudamericanos. Ej. tití, mono araña, mono aullador.
Catarrinos o Cinomorfos	aspecto de perro; con cola prensil o sin cola; callosidades isquiáticas; con abazones (bolsas bucales laterales). Ej. babuinos y mandriles africanos, macaco rhesus y narigones asiáticos.
Antropomorfos	Familia de los Póngidos, primates asiáticos (gibón, orangután) y africanos (gorila, chimpancé) Familia de los Homínidos : subfamilia *Hominidae*, género *Homo*, especie *sapiens*.

Antropología

Concepto, división y relaciones con otras ciencias. Reseña histórica. El hombre fósil. Evolución del hombre. La hominización. Clasificación humana. *Estatura y peso. Cara y maxilar. Nariz, ojos, labios y orejas. Color de la piel y del pelo. Bóveda craneana. Grupos sanguíneos.* Raciología.

Concepto, división y relaciones con otras ciencias. — La *Antropología* es la ciencia que trata de los aspectos biológicos del hombre relacionándolos con la historia y cultura de éste.

En esta visión se considera al hombre como una especie zoológica y se estudian sus cualidades de adaptación al medio ambiente, su evolución, genética y variaciones (individuales y de grupo).

El objeto de la Antropología, como deja entrever la etimología de este término, es, por tanto, el *hombre*. Para centrar adecuadamente el estudio de éste en el campo zoológico, es interesante enunciar las categorías a las cuales pertenece : Reino Animal, Phylum Vertebrados, Clase Mamíferos, Orden Primates, Suborden Antropoideos, Superfamilia Antropomorfos, Familia Homínidos, Género Homo, Especie sapiens, Raza variable.

La Antropología no se limita, sin embargo, a contemplar simplemente el campo zoológico, sino que toma éste como punto de partida. Arranca del suborden Antropoideos, se refiere a las subdivisiones del mismo y se interesa en particular por los aspectos raciales, genéticos, culturales y sociológicos.

El estudio de esta ciencia se hace analizando, en una doble vertiente, el pasado y el presente del hombre. Por el primero se interpretan los restos fósiles y por el segundo, lindando ya con lo histórico, se investigan los fenómenos raciales, culturales y sociales. La Antropología tiene, por tanto, como objetivo el hombre en el aspecto biológico y sociológico y, dada la amplitud del campo que abarca, se divide en *Antropología física* y *Antropología cultural*, que cubren una serie de conceptos, los principales de los cuales se resumen en el siguiente cuadro :

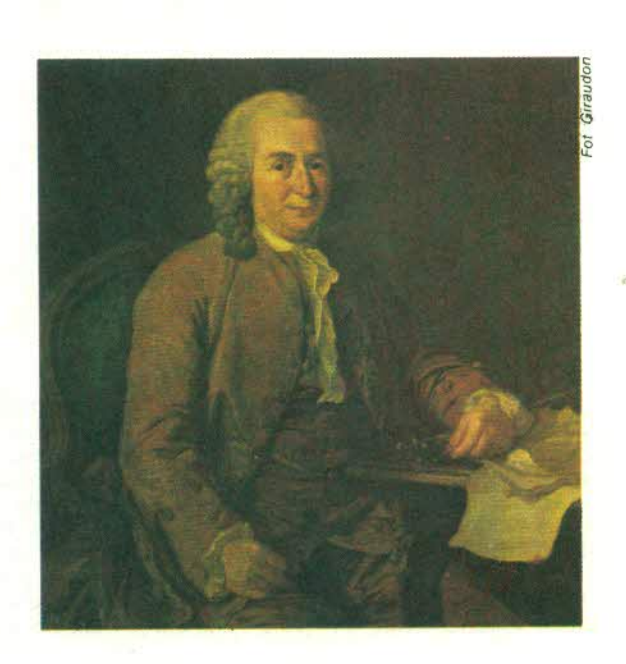
- Antropología
  - Física
    - Hombre fósil
    - Biometría antropológica
    - Hombre del Pleistoceno
    - Selección genética
    - Clasificación humana
    - Raciología
    - Evolución
  - Cultural
    - Conceptos culturales
    - Cultura en el tiempo y en el espacio
    - Vivienda y vestido
    - Visión económica
    - Matrimonio, familia y parentesco
    - Religión y magia
    - Sociedad política

La Antropología física tiene numerosas relaciones con otras ciencias. Constituye un apoyo importante para las disciplinas históricas y utiliza la información que le proporcionan la Geología, Paleontología, Estratigrafía, Botánica, Química, Radioisotopía, Biometría, Estadística, Anatomía, Embriología, Fisiología, Genética, Serología, Etnografía y otras muchas más.

Reseña histórica. — Conocidas teorías teogónicas y cosmogónicas han intentado, desde la más remota antigüedad, explicar por vías creacionales, con criterios a veces bastante diferentes, la aparición del hombre en la Tierra, como puede verse en el estudio de la filosofía, las mitologías y las religiones.

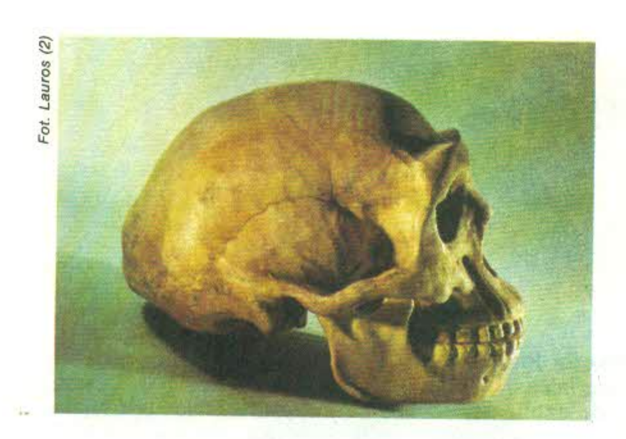
Para hallar los primeros pasos de esta ciencia hay que remontarse a la cultura clásica griega. Los datos que ésta suministra, aunque sean realmente antropológicos, adolecen de imprecisión. El historiador HERODOTO, del siglo V a. de J. C., se ocupó ya de esta disciplina. Siguieron muchas centurias en las que apenas se trató este tema, hasta que en los viajes exploratorios de los siglos XV y XVI empezó a interesar profundamente la cuestión raciológica. Se considera que el naturalista sueco **Linneo** (1707-1778) fue quien primero clasificó las razas humanas, iniciando así los verdaderos estudios antropológicos. La época en que más se desarrolló la Antropología fue el siglo XIX, a pesar de las teorías empiristas existentes en aquel tiempo. Investigadores ingleses, franceses y alemanes fueron recogiendo datos y comenzaron a realizar medidas y observaciones rigurosas. Actualmente se dispone de un cuerpo doctrinal en el que predominan las mediciones y estadísticas, lo que permite en muchos casos sacar conclusiones muy exactas, y puede afirmarse, dada su importancia, que esta ciencia constituye hoy una rama esencial de las estudiadas por el hombre.

El naturalista sueco Linneo clasificó las razas humanas e inició los verdaderos estudios antropológicos.

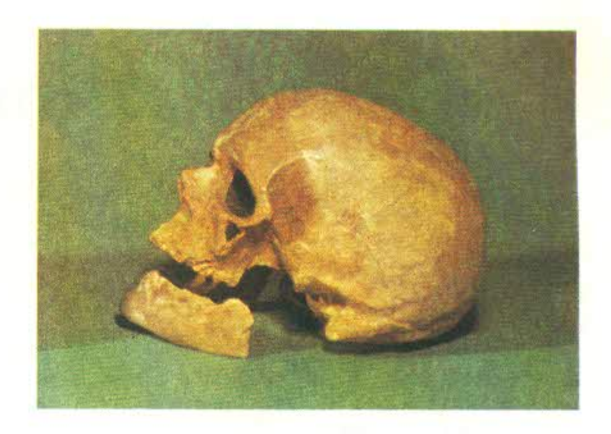


Fot Giraudon

Fot. Lauros (2)

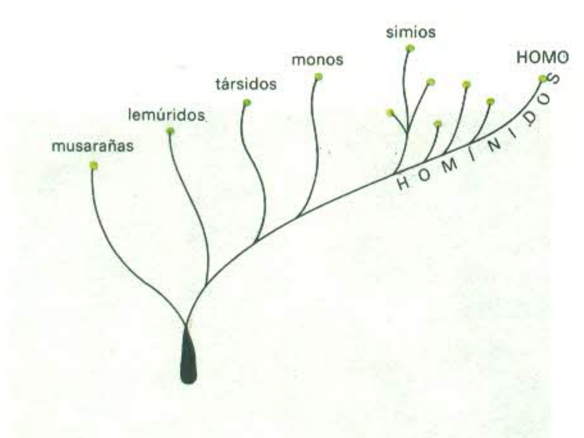


Cráneo de Sinanthropus hallado en Pekín.



Cráneo dolicocéfalo del hombre de Neandertal.

El hombre fósil. — Las viejas creencias empíricas sobre las especies animales dejaron de ser válidas en 1859, año en que expuso su doctrina el naturalista inglés Charles **Darwin** (1809-1882), quien admitió los cambios graduales para explicar la evolución de los seres vivos. Se planteó entonces el problema de encontrar el origen del hombre y para ello se estudiaron los fósiles de los homínidos. Los primates, que existen desde hace unos 70 millones de años (período Cretácico), han llegado hasta nuestros días gracias al extraordinario poder de adaptabilidad que tienen. Se han hallado en África austral (1924) unos restos del Pleistoceno que muestran a unos seres ya muy evolucionados, bípedos, con dentadura de tipo humano y capacidad craneal de 60 centímetros cúbicos. Incluidos en el género *Australopithecus*, eran auténticos homínidos que se subdividieron probablemente, a finales del Cretácico, en tres ramas, identificables con los tres subórdenes de lemúridos, társidos y antropoideos, representados gráficamente por el antropólogo LE GROS CLARKE :



Posterior al *Australopithecus* es el *Pithecanthropus*, hallado en Java en 1890 y análogo al fósil encontrado en Pekín, o *Sinanthropus*. Ambos especímenes pertenecen a la glaciación de Mindel, ocurrida durante el Pleistoceno. El *Pithecanthropus* tiene una capacidad craneana de 750 a 900 cm³, cabeza estrecha y oblonga, mandíbula bastante robusta, mentón dirigido hacia atrás y arcos superciliares muy desarrollados. El *Sinanthropus* posee un cráneo, con paredes gruesas, mucho mayor que el citado anteriormente (de 910 a 1 200 cm³), frente echada hacia atrás, arcos supraorbitarios prominentes y mentón pequeño. Las especies de estos dos géneros eran bípedas y pertenecen ya a la categoría de *homo erectus*.

La siguiente etapa está representada por los hombres de Heidelberg, Neandertal, Rodesia-Cromagnon y otros no identificados, por lo que se puede deducir que es falsa la afirmación de que nuestra especie desciende de los monos. Se puede, por tanto, calificar a los australopitecinos, pitecántropos y sinántropos como hombres del Pleistoceno, e incluso de finales del Plioceno. Y a los demás, desde los de Heidelberg hasta los de Cromagnon, como hombres del Holoceno, dentro ya de tipos y niveles culturales estudiados por la Prehistoria.

Evolución del hombre. — El interés que tienen los antropólogos por llevar lo más lejos posible los datos genealógicos de la especie humana es causa de largas polémicas entre ellos acerca de la significación de los hallazgos fósiles y de la relación que pueda existir entre unos y otros. A este respecto, conviene recordar que cada documento fósil puede corresponder a un individuo de una población sujeta a principios de variación anatómica y, por esta razón, los cambios evolutivos deben interpretarse como términos de sucesivas poblaciones que revelan tendencias anatómicas derivadas de la interacción estructural genética y del proceso selectivo natural.

La hominización. — El proceso de la *hominización* puede esquematizarse en cinco grupos estructurales :

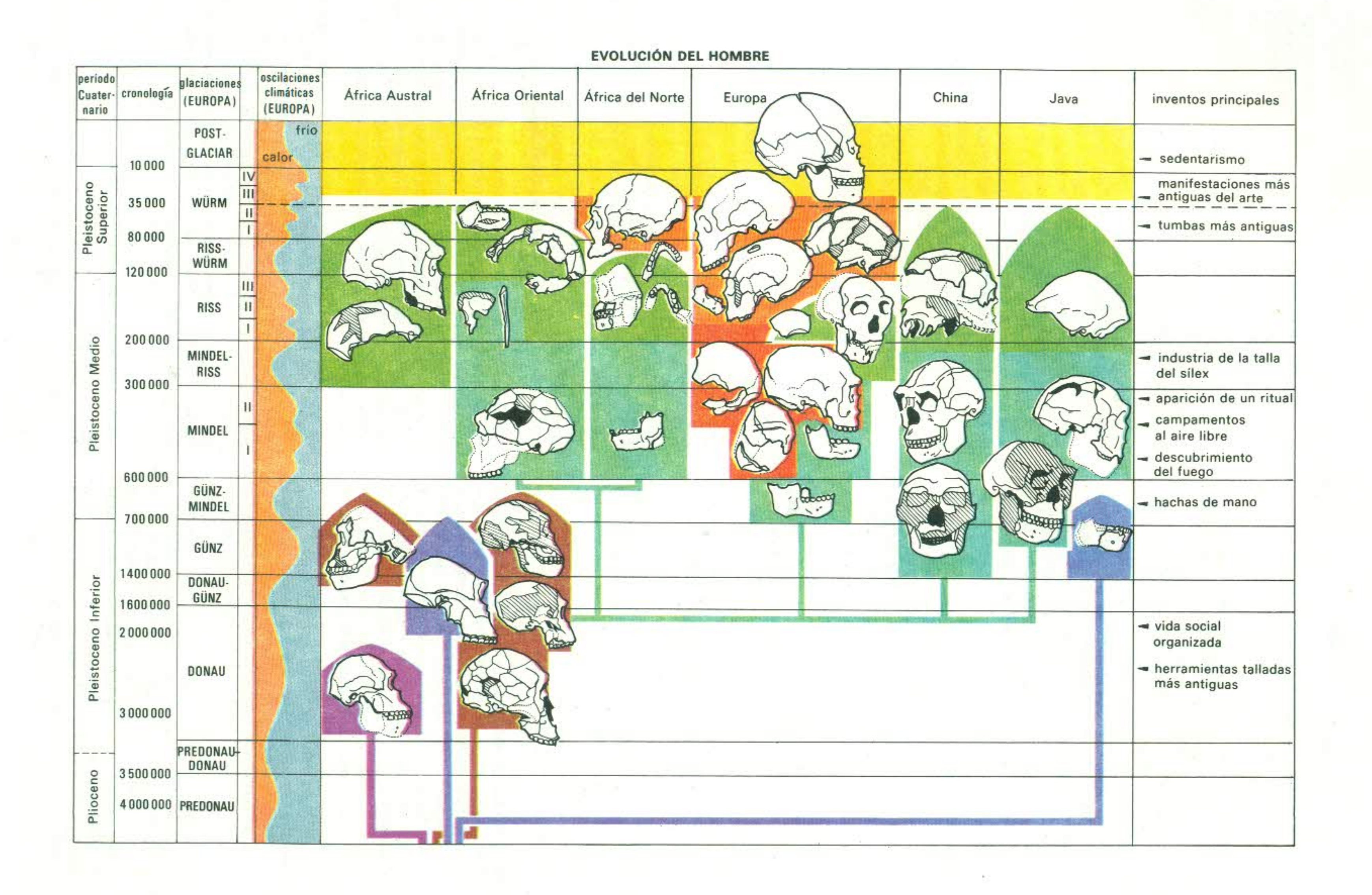
1. Homínidos primitivos
2. Fase prehumana
3. Fase humana inicial
4. Fase humana auténtica
5. Moderno *sapiens*

Éstos, además, pueden también integrarse en grupos taxonómicos de la siguiente manera :

1. *Ramapithecus punjabicus*
2. *Australopithecus africanus*
3. *Pithecanthropus (Homo habilis)*
4. *Homo erectus*
5. *Homo sapiens*

El *Homo sapiens* merece atención preferente por las características que presenta : marcha en posición erecta, bipedismo, apoyo exclusivo en las extremidades abdominales y pies no prensiles, gran desarrollo del cerebro y de las circunvoluciones del mismo, lo que aumenta el volumen del cráneo con relación a la cara, desapare-

EVOLUCIÓN DEL HOMBRE



ciendo así el primitivo aspecto bestial, posesión, al final de la evolución, de un lenguaje articulado y acortamiento de las extremidades torácicas o brazos.

Los principales detalles anatómicos de los grupos estructurales mencionados, siguiendo el mismo orden, son los indicados a continuación :

1. Dientes homínidos.
2. Dientes homínidos; cerebro pequeño de unos 500 cm^3; bipedismo primitivo. Utilizaron probablemente las primeras herramientas.
3. Dientes más grandes; carentes de barbilla; cerebro próximo a los 700 cm^3; bipedismo. Se sirvieron de herramientas.
4. Dientes mayores; también sin barbilla; cerebro de 750 a 1 000 cm^3; bipedismo desarrollado. Conocieron el fuego y fabricaron herramientas de piedra.
5. Dientes parecidos a los que tiene el hombre actual; inexistencia de barbilla; gran cerebro de 1 100 a 1 600 cm^3; bipedismo perfecto. Fabricaron herramientas de piedra, hueso y asta.

Clasificación humana. — Para estudiar mejor la especie es necesaria la fijación de criterios mínimos para conseguir datos tipificados, aplicables a un estudio racial o antropológico-genérico. Estos criterios, generalmente expresados en formas métricas, se enumerarán a continuación.

Estatura y peso. — La estatura del hombre oscila entre 1,20 y 1,95 m. Las medias superiores o inferiores corresponden a casos patológicos de gigantismo o enanismo, respectivamente. Existen señaladas diferencias a causa del dimorfismo sexual y los varones suelen ser más altos que las hembras. El peso es también muy variable, ya que depende fundamentalmente de la estatura, raza, nutrición, etc.

Cara y maxilar. — En la cara o rostro hay que considerar la anchura, altura e índice facial (relación entre anchura y altura). Estas medidas difieren según se trate de hombres vivos o de estructuras óseas. El maxilar puede presentar perfiles ortognatos (rectos), prognatos (salientes) e intermedios.

Nariz, ojos, labios y orejas. — Para la nariz se efectúan medidas de anchura y longitud, cuyas relaciones dan el índice nasal. Los ojos proporcionan interesantes criterios raciales, como en los mongoloides. Los labios constituyen elementos raciales importantes, y así se habla de labios negroides, peculiares por el grosor, tamaño y abultamiento. Las orejas ofrecen detalles complementarios para un mejor establecimiento raciológico y se considera que permiten diferenciar grupos individuales e incluso raciales.

Color de la piel y del pelo. — La concentración pigmentaria es el principal determinante del color de la piel, que varía entre tonos amarillentos y castaños, y esta diferencia de matiz se debe a la mayor o menor cantidad de melanina. Generalmente se pasa del tono pálido, propio de la infancia, a otros más determinados en la edad adulta. El color de la piel representa un carácter racial fundamental para distinguir a los humanos. Los cabellos constituyen un factor complejo, en el que deben tenerse en cuenta la forma y sección, y pueden ser lacios o lanosos, pasando por varias gradaciones intermedias, y más o menos ondulados. La sección de los mismos va desde la circular hasta la oval plana y su distribución en el cuerpo humano varía mucho también según los individuos.

Bóveda craneana. — En el estudio de la bóveda craneana, de gran interés desde el punto de vista racial, deben considerarse las medidas de longitud, anchura, altura, inclinación frontal y posición del foramen. Existen distintos índices derivados de la relación entre algunas de las medidas citadas, como es el *cefálico* (i.c.), cociente entre la anchura y la longitud, multiplicado por cien, según el cual los tipos craneales son los siguientes :

Dolicocéfalo (largo y estrecho)	i.c.	57 a 75
Mesocéfalo (intermedio)	i.c.	75 a 80
Braquicéfalo (corto y ancho)	i.c.	80 a 98

Grupos sanguíneos. — El conocimiento cada vez más perfecto que se tiene de los grupos sanguíneos arroja mayor luz sobre los tipos raciales y la clasificación de los mismos. En la actualidad es posible calcular matemáticamente las frecuencias genéticas gracias a los datos que tenemos sobre la distribución de los grupos (inicialmente A, B, AB y O). Por otra parte, se descubren a veces elementos genéticos nuevos, que inciden en la química hemática, y puede afirmarse que las diferencias existentes entre los grupos sanguíneos reside en la frecuencia variable de cada gen.

Raciología. — En el hombre, lo mismo que en otros animales, las clasificaciones raciales sirven para identificar y agrupar a las poblaciones que, en alguna forma, difieren de otras. Esas variaciones se deben al proceso evolutivo y a la incidencia genética que éste tiene. Por lo tanto, se considera la raza como parte de la evolución. Una vez sentado esto, puede añadirse que, en las múltiples clasificaciones de la Humanidad, hechas por diferentes antropólogos en el transcurso del tiempo, siempre se ha admitido la existencia de tres grupos raciales fundamentales : *európidos*, *mongólidos* y *négridos*, que, a su vez, muestran entre sí diferencias que dan lugar a subrazas. Así, los **európidos** se distinguen por ser ortognatos, tener la frente ancha, labios finos, el pelo sedoso y la piel de color variable (del sonrosado nórdico al negro etiópido); las subrazas de este grupo son las nórdica, eslava, mediterránea, caucásica y etiópida. Los **mongólidos,** braquicéfalos, de pómulos salientes, piel de color amarillento, de varias tonalidades, cabellos lacios, ojos oblicuos y barba escasa, se subdividen en las subrazas paleoasiática (siberianos y mongoles), neomongol (chinos, coreanos y japoneses) y malaya (siameses, birmanos, javaneses y filipinos). Los **négridos,** prognatos, dolicocéfalos, de labios gruesos, frente recta o abombada, pelo crespo, barba escasa, color de piel que va desde un moreno claro hasta un negro oscuro, se subdividen principalmente en sudaneses, bantúes y kohisánidos, junto a otros grupos menores actualmente en regresión.

La mayor parte de los seres humanos quedan englobados en las tres grandes divisiones antedichas, pero existen también otras razas menores, de localización más restringida, entre las que se pueden incluir a *lapones*, *bosquimanos*, *pigmeos* y *negritos* de Oceanía. En el continente americano se encuentran los *esquimales*, en el Norte, y los *amerindios*, repartidos por los subcontinentes Norte y Sur, así como por Centroamérica. No hay que olvidar tampoco una serie de razas híbridas, como son la *norteamericana* (excluidos mongólidos y negros), la *ladina* (compuesta esencialmente de amerindios, négridos y európidos), la *neobrasileña* y la *negroamericana*, estas tres últimas localizadas en el ámbito iberoamericano.

Aunque se carece de la necesaria perspectiva, parece probable que las diferencias raciales surgieron en los albores de la Humanidad.

Botánica

La *Botánica*, una de las partes de la Biología, tiene por objeto el conocimiento de las plantas. La importancia de esta ciencia se basa principalmente en que los primeros seres organizados fueron los vegetales y en que los animales y los hombres sacan directa o indirectamente provecho de ellos.

El conocimiento de la Agricultura supuso un importante adelanto en las comunidades primitivas. Se tienen noticias de cultivos en el valle del río Amarillo u Hoangho (China) desde el cuarto milenio a. de J. C., y la técnica empleada en ellos, de tan enorme importancia para el desarrollo de las civilizaciones, se extendió posteriormente a Mesopotamia, al delta del Nilo (Egipto) y al resto del mundo. Se conocen los estudios de Botánica que hizo ARISTÓTELES (384-322), así como los de su discípulo TEOFRASTO (¿372?-287), autor de una clasificación sistemática de las plantas. El interés por esta ciencia nunca decayó y, en la actualidad, cobra cada día mayor importancia desde el punto de vista agrícola, terapéutico, nutritivo y económico.

Existen varias ramas especializadas de la Botánica, que tratan el ser vegetal según diferentes ángulos. Para un estudio sistemático se puede hacer una distinción entre la *Botánica general*, que se ocupa de los fenómenos comunes a todos los vegetales, y la *Botánica especial*, limitada a un grupo determinado de plantas.

Botánica general

El reino vegetal se caracteriza por un gran polimorfismo. Existen formas sencillas, unicelulares e incapaces de vivir fuera del agua, y plantas superiores constituidas por millones de células y adaptadas a la vida terrestre. Los organismos vegetales más primitivos fueron unicelulares y, a partir de ellos, mediante un largo proceso evolutivo cifrado en millones de años, surgieron los órganos pluricelulares. El estudio de la Botánica ha de iniciarse, por lo tanto, con el de las *células*, que son las estructuras más elementales.

Citología, Histología y Morfología vegetales

Citología : Forma y tamaño de las células. Constitución de la célula. Bioquímica vegetal. — **Histología :** Tejidos. *Meristemos. Parénquimas. Protectores. Esqueléticos. Conductores. Excretores.* — **Morfología :** Protofitas. Talofitas. Cormofitas.

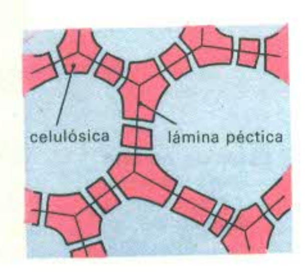
Citología

Tanto la Citología como la Histología de los vegetales nacieron con los estudios que sobre las estructuras de las plantas hicieron el inglés Robert HOOKE (1635-1703) y el holandés Antoon VAN LEEUWENHOEK (1632-1723), quienes fueron los primeros en dar el nombre de *célula* a la porción de materia viva más pequeña, denominación que se extendió posteriormente al mundo animal.

Forma y tamaño de las células. — Las *formas* de las células son muy variadas. Generalmente son poligonales, con predominio de estructuras rígidas, dada la especial constitución de las membranas. Las hay también alargadas y de aspecto filamentoso, en cuyo caso reciben el nombre de *fibras*.

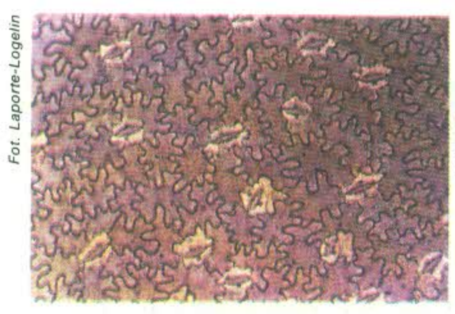
En el *tamaño* existen sensibles diferencias, pero la mayor parte de ellas oscilan entre 10 y 100 micras, aunque algunas, como las bacterianas, apenas alcanzan 0,15 micras.

Constitución de la célula. — Examinando una célula desde fuera hacia dentro, aparece en primer lugar la *membrana*, envoltura de todo el conjunto y órgano de secreción de celulosa, que puede transformarse en lignina dura, en cutina impermeable o en súber (corcho). En el interior se encuentra el *protoplasma*, viscoso y, a veces, granular, en cuyo centro se sitúa el *núcleo*, rodeado del *citoplasma*, si bien su propio plasma es el *carioplasma*. Dentro del citoplasma pueden diferenciarse abundantes *vacuolas*. Los *plastidios* son unos orgánulos celulares de fina membrana y formas variadas (con predominio de las lenticulares) localizados junto al núcleo, que reciben el nombre de *cromatóforos*, si están coloreados, o de *cloroplastos* cuando son verdes. Próximos a éstos se observan otros corpúsculos, de diferentes formas y funciones, mientras que en el núcleo están los *cromosomas*, elementos genéticos por excelencia. Esta descripción corresponde a las células nucleadas típicas, pero existen otras en el mundo vegetal que carecen de núcleo, como son los *anucleobiontes*, característicos de algas y hongos. Las diferencias que separan las células vegetales de las animales se exponen en Biología.



Membrana vegetal.

Fot. Laporte-Logelin



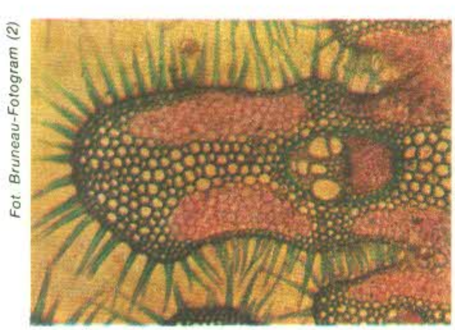
Epidermis de una hoja de galium, planta rubiácea.

Bioquímica vegetal. — Todo lo que se explicó en Biología acerca de la Bioquímica debe tenerse en cuenta, salvo algunas excepciones, para estudiar los componentes organizativos del protoplasma y el funcionamiento del mismo.

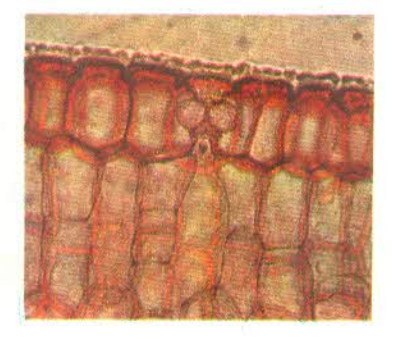
Una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos constituyen el protoplasma, mezcla coloidal en continua transformación dentro de la célula. Ésta contiene una gran cantidad de agua, generalmente en una proporción del 65 al 85 por ciento, así como de prótidos y lípidos, casi siempre en forma de lipoproteídos los últimos, es decir, compuestos de proteína y grasa. A los carbohidratos les corresponde el papel energético nuclear. Existen también en la célula una serie de *electrólitos* (sales de ácidos orgánicos e inorgánicos), cuya misión consiste en regular el contenido de agua, y unos *transmisores energéticos* (A. T. P. y A. D. P.). Completan el conjunto pigmentos asimiladores, sustancias hormonales, vitaminas, enzimas y productos del metabolismo secundario (esencias, resinas, colorantes, ceras, etc.), algunos de ellos de gran interés económico. De todo esto se deriva que la ordenación material de la célula es algo altamente dinámico y que el protoplasma es una materia compleja en permanente estado de transformación y reorganización.

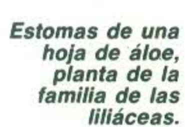
Desde el punto de vista fisicoquímico, el protoplasma es una solución coloidal, de consistencia más o menos sólida, según el tamaño de las moléculas que lleva en disolución. Por ello se ha pensado a veces en la existencia de una estructura interna de forma esférica o submicroscópica dentro de él, lo que explicaría ciertos hechos relacionados con su actividad, comportamiento bio-fisicoquímico y sensibilidad osmótica.

Fot. Bruneau-Fotogram (2)



Epidermis de una hoja de barrón, planta ammophila.





Estomas de una hoja de áloe, planta de la familia de las liliáceas.

Histología

Tejidos. — Los *tejidos*, objeto de estudio de la Histología, son agrupaciones de células íntimamente unidas entre sí, con estructuras y funciones idénticas. Se clasifican según variados criterios, pero predominan los que se basan en la función y morfología de los mismos. Entre los principales se encuentran los meristemos, los parénquimas y los tejidos protectores, esqueléticos, conductores y excretores.

Meristemos. — Los *meristemos* son tejidos jóvenes e indiferenciados, cuyas células, de forma poliédrica, contribuyen al crecimiento de la planta en longitud y en espesor. Las células de los meristemos se encuentran en permanente estado de división y originan todos los tejidos de los órganos. Según la posición que tienen en la planta y la actividad ejercida, los meristemos pueden clasificarse en **primarios,** situados en las extremidades de la raíz y del tallo o en las yemas de la planta, y **secundarios,** que están en el interior y constituyen las bases generatrices liberoleñosas. En el cilindro central de la raíz y del tallo hay una sustancia llamada *cámbium*, cuyas células proliferan hacia el exterior, originando el *líber*, y hacia el interior, para producir el *leño*. El cilindro exterior contiene *felógeno*, generador hacia fuera de *súber* (corcho), de gran importancia por su aprovechamiento industrial, y hacia dentro de tejido *parenquimatoso*.

Parénquimas. — Se da generalmente el nombre de *parénquimas* a los tejidos de paredes delgadas, formados por células vivas. Éstas suelen estar estrechamente unidas y adoptan una forma poligonal. Las membranas, pocas veces lignificadas, se componen de laminillas elásticas de celulosa. En el citoplasma hay leucoplastos y cloroplastos, con espacios grandes y vacuolas repletas de jugo celular.

Basándose en las diversas funciones que tienen, los parénquimas pueden ser *clorofílicos*, encargados de la fotosíntesis de las plantas, *acuífero-vacuolares* o de *reserva*, cuya misión es almacenar el almidón y los azúcares, *acuíferos*, propios de ciertas plantas de los desiertos, que acumulan el agua, *conductores*, que distribuyen el agua por todo el vegetal, y *aeríferos*, con grandes espacios intercelulares para facilitar el intercambio de gases.

Protectores. — Los *tejidos protectores*, envoltura de las plantas integradas por células muy diferenciadas, pueden ser epidérmico o suberoso.

El **tejido epidérmico** recubre la parte más joven de la planta y está formado por células pequeñas e impermeabilizadas con cutina. Entre ellas se encuentran los *estomas*, consistentes en un orificio u *ostíolo* intercalado entre dos células con la misión de facilitar el intercambio gaseoso con el exterior y regular la transpiración. El **tejido suberoso** protege las partes más viejas de la planta, y está básicamente formado por células muertas, cuyas membranas se hallan impregnadas de suberina. Precisamente, el exceso de súber impide el contacto con el exterior y contribuye así a la muerte de las células.

Esqueléticos. — Los *tejidos esqueléticos*, llamados también *de sostén*, forman el verdadero esqueleto de la planta y le dan rigidez y consistencia. Las células de los mismos poseen membranas gruesas y lignificadas, y, según estén vivas o muertas, dan lugar a dos variedades de tejido. Una, llamada **colénquima,** está constituida por células vivas, de forma poliédrica y con las paredes engrosadas de celulosa en los ángulos de la unión que le confiere gran resistencia y flexibilidad. La otra o **esclerénquima** se halla integrada por células muertas, con membranas muy gruesas y duras por estar impregnadas de lignina. Las células mencionadas pueden ser cortas y redondeadas (escleritos) o muy alargadas y filiformes (fibras de esclerénquima). Entre estas últimas se pueden citar las de las fibras de yute, pita, lino, etc., muy importantes desde el punto de vista industrial.

Conductores. — Los *tejidos conductores*, que llevan la savia a las distintas partes del vegetal, pueden ser **leñoso,** formado por células muertas, de forma cilíndrica y alargada, cuyas membranas se encuentran endurecidas por la lignina, y **liberiano,** integrado por células vivas de membrana fina y con tabiques de separación llenos de poros por los que circula la savia. Debido a estos orificios, los vasos conductores reciben también el nombre de *vasos cribosos*. Una sustancia, a la que se denomina *calosa*, obstruye o tapona el paso por esos poros en el transcurso del invierno, pero ésta se suele disolver siempre cuando llega el momento de que circule de nuevo la savia.

Excretores. — Los *tejidos excretores* segregan las sustancias inútiles desde el punto de vista fisiológico, aunque éstas, como en el caso de la resina, esencias, caucho, opio, etc., son frecuentemente de gran interés industrial. Entre las variedades de tejido excretor se deben señalar las **bolsas secretoras,** cavidades esféricas alojadas en los parénquimas; los **tubos laticíferos,** que segregan un líquido blanquecino, el *látex*, mezcla de diversos componentes químicos, cuyos ejemplos más conocidos son el opio, procedente de las adormideras, y el caucho, producido por diversas plantas de las zonas ecuatoriales, como las pertenecientes al género *Hevea;* y las **glándulas epidérmicas,** células situadas en la epidermis que destilan generalmente líquidos irritantes.

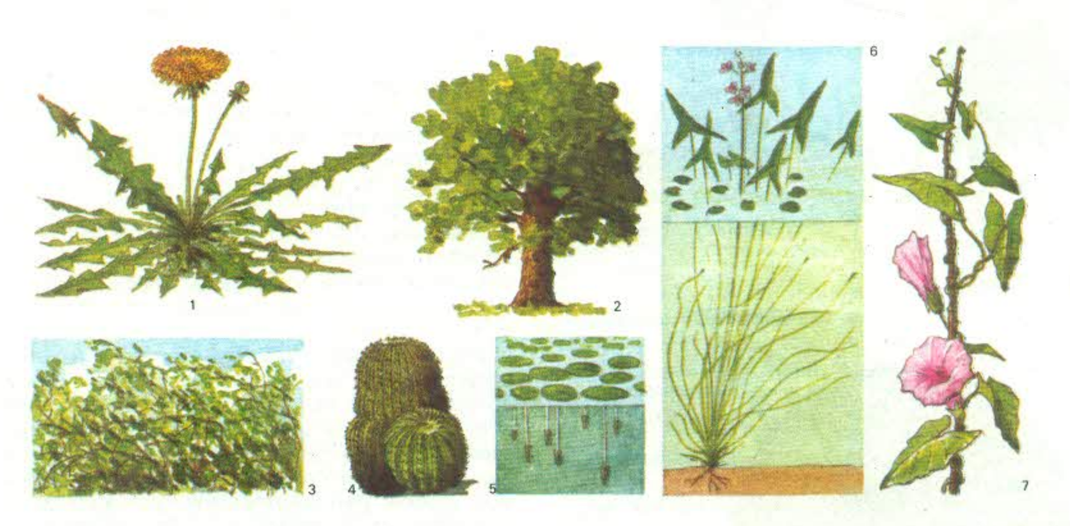
Morfología

Ya se ha hablado del polimorfismo característico del reino vegetal. En las plantas inferiores, toda la masa celular lleva a cabo la nutrición y la reproducción, necesidades que son primarias en cualquier ser vivo. Los vegetales están dotados, por lo tanto, de órganos vegetativos encargados de la nutrición y de órganos reproductores y, según la mayor o menor complejidad que éstos pueden presentar, se suelen dividir en tres agrupaciones de plantas completamente diferentes *(protofitas, talofitas* y *cormofitas)*, de las que se dará una explicación somera en los párrafos siguientes.

Protofitas. — Las *protofitas* son plantas unicelulares que pueden reunirse dentro de una sustancia gelatinosa y constituir así un *cenobio*, asociación en la que cada célula tiene vida independiente en relación con las otras. También varias masas protoplasmáticas desnudas y plurinucleadas forman a veces un *plasmodio*, casi siempre por fusión de los citoplasmas de células vecinas o por la división sucesiva del núcleo de una célula. Como ejemplo de cenobio se puede dar el de numerosas bacterias, y los mixomicetos son una muestra de estructura plasmodial.

Talofitas. — Las *talofitas*, plantas inferiores de organización pluricelular, no llegan a alcanzar suficiente diferenciación anatómica en los tejidos. Se manifiestan en forma de talos, filamentosos o compuestos, originados por yuxtaposición celular. Carecen, por lo tanto, de tejidos propiamente dichos y de vasos conductores y las células asimilan directamente el alimento. Normalmente no se diferencian la raíz, el tallo o las hojas, aunque a veces se observa la apariencia de los mismos *(rizoides, cauloides* y *filoides)*. La *spirogyra* y las algas rodofíceas son ejemplos de talos filamentosos y de talos compuestos o ramificados, respectivamente.

Cormofitas. — Las *cormofitas* representan ya un nivel superior de organización. El aparato vegetativo posee fibras y vasos conductores, lo que supone una agrupación de tejidos especializados. Todas las plantas que se consideran superiores pertenecen a este grupo.



Plantas : 1. Hoja en roseta y bohordo floral del diente de león o cardillo; 2. Roble, ejemplo de árbol; 3. Zarzal; 4. Echinocactus, planta carnosa; 5. Lenteja de agua, planta flotante; 6. Polimorfismo de las hojas de la sagitaria, planta acuática o de zonas pantanosas; 7. Enredadera con campanillas, planta trepadora.

Anatomía y Fisiología vegetales

Anatomía : La raíz : Partes de la raíz. Estructura. Clases de raíces. — El tallo : Estructura. Clases de tallos. — La hoja : Partes de la hoja. Estructura. Clases de hojas. — **Fisiología :** Nutrición : Absorción. Circulación. Transpiración. Exudación. Respiración. Secreción. Fotosíntesis. *Fase luminosa. Fase oscura.* Otros sistemas de nutrición. — Movimientos : Tropismos y tactismos. Protoplasmáticos. Nictotrópicos. Provocados por contacto. — **Reproducción :** Multiplicación vegetativa. Reproducción. *Agámica. Singámica. Alternante.* — La flor : Morfología. Fisiología. — El fruto : Partes del fruto. Clases de frutos. — La semilla : Partes de la semilla. Clases de semillas.

Anatomía

Puede hablarse realmente de *anatomía* sólo para aquellas plantas de organización superior, es decir, las que disponen de tejidos especializados. La diferenciación celular de las mismas y la división del trabajo fisiológico se manifiestan en distintos tipos de órganos con misiones de sostenimiento o de conservación.

El objeto de este capítulo es el estudio de la anatomía de las partes fundamentales de la planta (raíz, tallo y hojas).

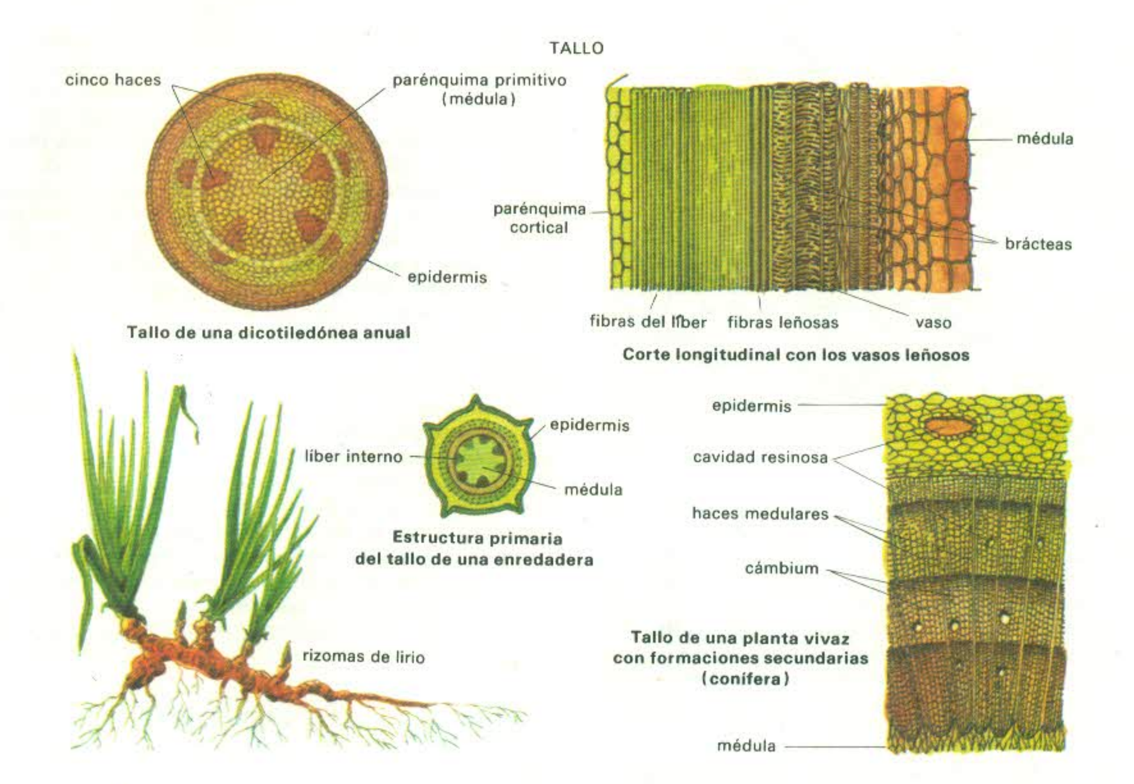
LA RAÍZ

La *raíz* es una parte del eje principal de la planta, generalmente subterránea, cuya función consiste en fijarla al suelo y absorber el agua y sales minerales necesarias para la nutrición.

Partes de la raíz. — Desde el extremo inferior hasta el cuello, donde comienza el tallo, la raíz se compone de la **cofia** o **pilorriza,** especie de cubierta protectora constituida por células cutinizadas, gracias a la cual se evita el rozamiento con la tierra de los meristemos terminales; la **zona de crecimiento,** de longitud constante y sometida a un intenso desarrollo; la **zona pilífera,** cubierta de pelos, de mayor longitud en la parte superior, que absorben las sales minerales disueltas en el agua; la **zona de ramificación,** en la que se forman las raíces secundarias; y el **cuello,** región de transición con el tallo.

Estructura. — En la estructura de la raíz hay que distinguir entre las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas menores de un año (primarias) y aquellas otras que sobrepasan esta edad (secundarias).

Si se corta transversalmente la raíz de una planta primaria, se observa la existencia de dos zonas concéntricas bien diferenciadas : el cilindro cortical y el cilindro medular. El **cilindro cortical** consta de la *epidermis,* donde se insertan los pelos absorbentes, del *parénquima cortical,* formado por células desiguales y en cuya composición entran diversos elementos (féculas, glándulas), y del *endodermo,* capa más profunda de la corteza, que limita con el cilindro medular y está compuesto por un anillo de células con membranas más o menos gruesas según la edad de la planta. El **cilindro medular,** como su nombre indica, corresponde al interior de la raíz y en él se distinguen el *periciclo,* formado por células parenquimatosas que alternan con las del endodermo y de donde salen las raíces secundarias, los *haces liberoleñosos,* dispuestos de modo radial, y la *médula,* que se introduce por los espacios existentes entre los haces.



Las plantas secundarias o mayores de un año de edad aumentan de espesor y tienen unos meristemos llamados *cámbium* y *felógeno*. El primero está formado en el cilindro medular por células ondulantes y hace crecer el líber hacia fuera y el leño hacia el interior. El segundo, situado en el parénquima cortical, produce unas células que se suberifican y constituyen una capa de corcho protectora de la raíz.

Clases de raíces. — La raíz suele ser *subterránea*, aunque algunas son *acuáticas* o *aéreas*. A partir de la *principal* se forman otras llamadas *secundarias*. Atendiendo a la forma que adoptan, existen raíces *pivotantes* o *axonomorfas*, en las que la principal alcanza un desarrollo muy superior a las secundarias; *fasciculadas*, cuando apenas se diferencian principal y secundarias; *napiformes* o *tuberosas*, caracterizadas por el engrosamiento excesivo de la principal (zanahoria, nabo); *laminares*, *columnares*, *fibrosas*, etc. En cuanto a la posición que toman respecto al tallo, se distinguen las *normales*, prolongación del tallo, las *adventicias*, que se desarrollan a partir del tallo para trepar por árboles o paredes (zarzamora, fresal), y las *fasciculadas de reserva*, que acumulan sustancias para la nutrición.

EL TALLO

El *tallo*, parte superior del eje de la planta, suele ser de forma cilíndrica y crece en sentido opuesto a la raíz (geotropismo negativo). Puede permanecer indiviso o, más frecuentemente, subdividirse en una serie de tallos secundarios llamados *ramas*. Los hay flexibles y blandos (herbáceos) o duros y consistentes (leñosos). En este último caso se encuentran el tipo *estipe*, como la palmera, y el tipo *tronco*, cilíndrico y ramificado. En puntos determinados del tallo se forman unos *nudos*, de los que salen las hojas, y unos botones o *yemas*, de donde brotan las ramas (axiales) o por donde crece el tallo principal (terminales).

Estructura. — Puede estudiarse la estructura del tallo de modo análogo al que se adoptó para la de la raíz. Si se efectúa un corte transversal, se observa en las plantas dicotiledóneas primarias un **cilindro cortical** y otro **medular.** El primero está formado por una *epidermis* protectora, con pelos, estomas y glándulas, un *tejido parenquimatoso* y un *endodermo*; el segundo, por un *periciclo*, *haces liberoleñosos* y *médula central*. En las monocotiledóneas primarias desaparecen el endodermo y el periciclo y el tallo casi queda reducido a la epidermis. Esta disposición es fácilmente visible en las esparragueras y en los plátanos. Las estructuras de las plantas secundarias son muy semejantes a las que se señalaron para la raíz : *cilindro cortical*, con capa externa generadora de súber, parénquima cortical y endodermo, y *cilindro medular*, con periciclo, cámbium, haces liberoleñosos y médula.

Clases de tallos. — Los tallos pueden desarrollarse en el aire *(epigeos)*, bajo tierra *(subterráneos* o *hipogeos)* o en el agua *(acuáticos)*.

Los **tallos epigeos** o **aéreos** son, según la consistencia y ramificación, herbáceos, como los cereales y hierbas, o leñosos (árboles y arbustos); la mayoría de ellos son verticales, pero algunos crecen horizontalmente y reciben el nombre de *tallos rastreros* o *estolones* (fresal) o lo hacen siguiendo un movimiento helicoidal *(volubles)*. Los **tallos subterráneos** se desarrollan bajo tierra y llegan a confundirse algunas veces con las raíces, a pesar de tener estructuras propias de tallos. Se dividen en tres clases : los *rizomas*, alargados y bastante voluminosos, en los que salen hojas en la parte superior y raíces adventicias en la inferior (espárrago), los *tubérculos*, que tienen gran cantidad de sustancia de reserva, por lo que son generalmente voluminosos, como la patata, y los *bulbos*, formados por escamas o capas concéntricas muy carnosas, como la cebolla o el ajo. Menos frecuentes son los **tallos acuáticos,** cuyo parénquima es capaz de retener el agua.

Los tallos presentan en ciertos casos modificaciones externas de carácter estrictamente funcional, como los *zarcillos,* ramificaciones helicoidales que ayudan a la trepa de la planta, las *espinas*, formaciones puntiagudas con misión de defensa, y los *filocladios*, porciones de tallo que adoptan la forma y la función que normalmente tienen las hojas (chumberas o nopales).

LA HOJA

La *hoja* es una expansión lateral del tallo, caracterizada por la forma aplanada, simetría bilateral, dimensiones definidas y crecimiento limitado en el tiempo y en el espacio. Cumple una función muy importante ya que en ella se realiza el intercambio gaseoso y tiene lugar la fotosíntesis, gracias a las células clorofílicas. La materia orgánica que produce se transforma en savia que circula por toda la planta.

Partes de la hoja. — La parte esencial de la hoja es el **limbo,** superficie plana y generalmente ancha que se une al tallo por el **pecíolo.** A veces, la base de la hoja se dilata en forma de *vaina* y llega a envolver el tallo en mayor o menor proporción. Cuando la hoja carece de pecíolo se llama *sésil* o *sentada.* En el limbo se distinguen el extremo o *ápice*, los *bordes* y la *base.* La cara superior o *haz* es de color verde vivo y suave al tacto, mientras que la inferior o *envés* es más pálida y de aspecto rugoso.

Estructura. — En las hojas no hay, como en la raíces, estructuras primarias y secundarias, ya que tienen una vida relativamente corta; incluso en los árboles llamados de hojas perennes, éstas se van renovando a medida que se marchitan y mueren. Dentro del limbo se encuentran las siguientes zonas : *epidermis superior*, con células cutinizadas, pelos y glándulas, *parénquima en empalizada*, con células muy unidas y ricas en plastos clorofílicos, *parénquima lagunar*, con muchos huecos o meatos, *epidermis inferior*, poco cutinizada y atravesada por ostíolos que comunican con los estomas, y *nervaduras*, constituidas por hacecillos liberoleñosos. Los *estomas*, que facilitan el intercambio gaseoso y eliminan el vapor de agua, pueden ser aeríferos o acuíferos, según estén situados por toda la superficie de la hoja o en los bordes. Los últimos son por regla general menos numerosos.

Clases de hojas. — Las hojas presentan muy variadas formas. Cuando constan de un solo limbo por pecíolo, son hojas simples y, si tienen varios, hojas compuestas. Las **hojas simples** pueden ser, por la forma del limbo, *ovales, acorazonadas, aciculares, alabardadas, aflechadas*, etc.; según el borde, *enteras, dentadas, aserradas, hendidas* y *partidas;* atendiendo a la nervadura, *uninervias, penninervias* y *palminervias;* y, si se considera la superficie, *lampiñas* y *pilosas.* Entre las **hojas compuestas,** se encuentran las *opuestas*, cuando salen dos de cada nudo, una enfrente de otra, las *verticiladas*, si brotan tres o más de cada nudo, las *pinado-compuestas*, si los folíolos arrancan de cada lado del pecíolo, y las *trifoliadas*, cuando estos últimos nacen en el mismo pecíolo.

Las hojas pueden también sufrir transformaciones, debidas a diferentes causas. Entre las más corrientes cabe mencionar las estípulas, expansiones laterales de la vaina, los zarcillos o ensanchamientos de estas últimas, las brácteas, de consistencia coriácea, las espinas, las escamas y las ascidias. Las hojas reciben el nombre de *perennes*, cuando permanecen vivas varios años y el árbol las sigue teniendo incluso durante el invierno, y de *caducas*, en el caso contrario, es decir, si mueren en cierta época para renovarse posteriormente con la abertura de la yema.

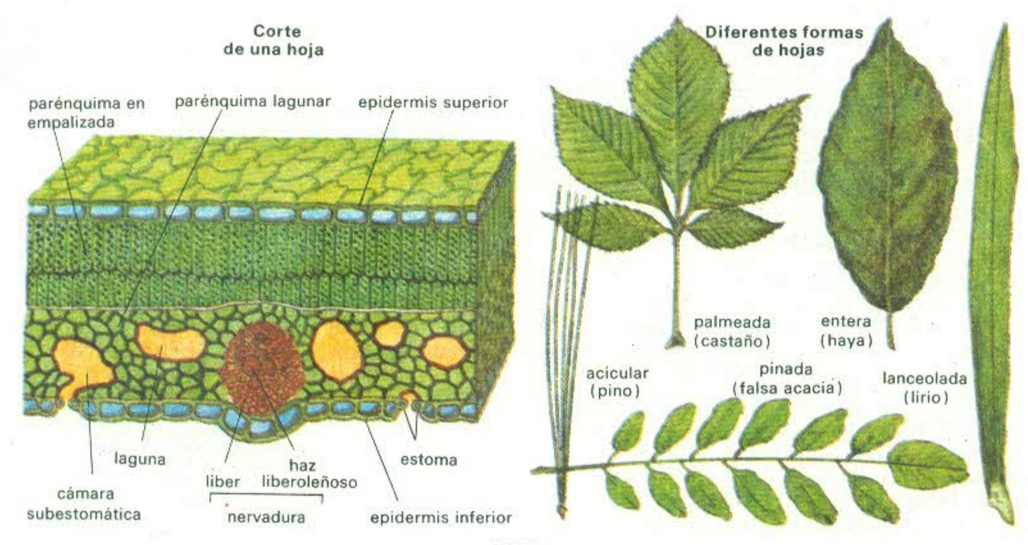
Fisiología

La Fisiología vegetal estudia los fenómenos vitales que se producen en las plantas, así como las relaciones existentes entre las distintas funciones propias de la raíz, el tallo y las hojas. Nutrición, movimientos y reproducción son así los puntos que se tratarán a continuación.

NUTRICIÓN

Las plantas, lo mismo que los animales, tienen que proporcionarse los principios nutritivos y la energía indispensables para llevar a cabo el crecimiento, reconstitución y movimiento.

Dentro de la nutrición, en su sentido más amplio, se incluyen varios fenómenos, entre los cuales se pueden señalar especialmente la *absorción, circulación, transpiración, exudación, respiración, secreción, fotosíntesis.*



HOJA

Absorción. — Los pelos de las raíces absorben las sales minerales que se encuentran disueltas en el agua o mezcladas con las partículas terrosas. La absorción se ve facilitada por la acción de ciertas enzimas, contenidas en la zona pilífera, que contribuyen a la disolución de las sales, y por el gran número de pelos que puede alcanzar la cifra de 250 por milímetro cuadrado.

La absorción del agua por la raíz es un fenómeno osmótico, ya que puede decirse que aquélla pasa de un medio hipotónico a otro hipertónico. Las membranas celulares de la raíz son semipermeables y dejan pasar a través de ellas solamente aquellas sustancias que pueden resultar beneficiosas para la planta.

Circulación. — La savia de los vegetales puede, en cierto modo, compararse con la sangre de los animales. La *savia bruta*, solución acuosa de productos minerales procedentes del suelo, se dirige en movimiento ascendente, a través de los vasos leñosos, hacia las hojas. La *savia elaborada*, más viscosa que la anterior, y en la que entran los productos de fotosíntesis, se distribuye por toda la planta gracias a los tubos cribosos del líber. Durante su recorrido, la savia sufre transformaciones importantes debidas a los efectos de la respiración y de la asimilación clorofílica. Esos cambios no son más que aspectos particulares del metabolismo general de las plantas.

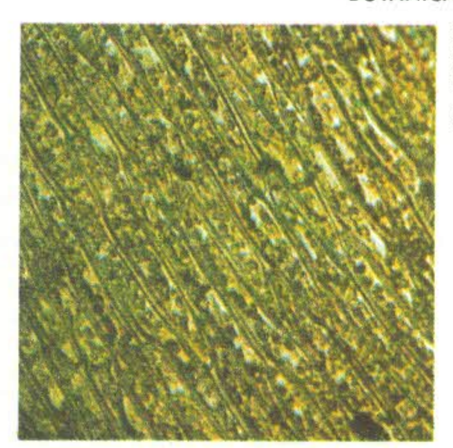
Transpiración. — Todas las partes de la planta, en especial las hojas, desprenden vapor de agua por *transpiración*. Ésta puede ser *cuticular*, propia de las hojas jóvenes y poco cutinizadas, o *estomática*, que se efectúa a través de los estomas existentes en las hojas de plantas adultas. Se creyó que la clorofila tenía una parte activa en el desprendimiento del vapor de agua, aunque en realidad es la luz la que aumenta la permeabilidad de las membranas celulares y permite así que el agua se elimine en abundancia. La transpiración, de modo análogo a la evaporación física, es más intensa cuando el aire es más seco, más cálido o circula a mayor velocidad, pero, si es excesiva, resulta perjudicial para las plantas ya que las deseca y tiende a marchitarlas. Las que crecen en regiones secas se protegen con una espesa cutícula o con el taponamiento de los estomas. Las cactáceas, por ejemplo, poseen un jugo celular muy rico en ácidos orgánicos que reduce la evaporación.

Exudación. — La *exudación* consiste en la expulsión de agua en forma de pequeñas perlas que aparecen en la superficie de la hoja. Este fenómeno no debe confundirse en ningún caso con el rocío.

La absorción del agua por las raíces se verifica incluso en ausencia de elementos foliares, es decir, cuando no hay transpiración. Si disminuye la velocidad de ésta, por ejemplo cuando se pone el Sol, la planta sigue absorbiendo agua y ha de expulsarla en estado líquido. Esta exudación es particularmente intensa en verano y las gotas de agua salen por los estomas acuíferos situados en el extremo de las nervaduras.

Pueden considerarse también como producto de exudación el *néctar* o jugo azucarado que se desprende de las flores.

Respiración. — Los vegetales llevan a cabo un intercambio gaseoso con la atmósfera, llamado *respiración*, mediante el cual absorben oxígeno y desprenden anhídrido carbónico. Esta acción se asemeja a una combustión, pero, en realidad, es una sucesión de fenómenos complejos, en gran parte desconocidos. Se sabe que las plantas, al respirar, dan lugar a una combinación entre el carbono, el hidrógeno de los alimentos energéticos y el oxígeno del aire, que forma anhídrido carbónico y agua, con liberación de energía. Este proceso recibe el nombre de *respiración aerobia* para distinguirlo del que tiene lugar en ausencia de aire o *respiración anaerobia*, modalidad esta última propia de ciertas plantas inferiores, que consiste en la descomposición de carbohidratos con liberación de oxígeno y utilización del mismo para la respiración.


Cloroplastos en un musgo.
Fot. Larousse

Secreción. — Después de la absorción, transformación y asimilación de las sustancias por la célula, se forman productos de desecho. Algunos ya no son de ninguna utilidad para la planta y reciben el nombre de *excreciones*, pero otros, como las *secreciones*, pueden tener todavía una finalidad funcional.

A pesar de que resulta muchas veces difícil establecer una distinción entre las sustancias de excreción y las de secreción, se puede afirmar que pertenecen a las primeras las toxinas de ciertos hongos y bacterias, los taninos, esencias, látex, etc., y a las segundas el líquido con el que algunas plantas insectívoras capturan sus presas, las sustancias orgánicas de algunas raíces y el néctar de las flores.

Fotosíntesis. — La *fotosíntesis* consiste en la formación de compuestos orgánicos reducidos, a partir de anhídrido carbónico y agua, gracias a la presencia de la luz. Así como la respiración, especie de combustión, es una reacción exotérmica, la fotosíntesis, fenómeno inverso, es endotérmica. Para la realización de este fenómeno, además de la luz solar, se necesita la acción de la clorofila contenida en los *cloroplastos* de las células vegetales. De aquí se deriva el nombre corrientemente empleado de *función clorofílica*. Las hojas de las plantas verdes son las que desempeñan esta función de manera más intensa. Si se exceptúan las bacterias quimiosintéticas, todos los demás vegetales basan su vida en este proceso y, gracias a él, se proveen de la energía necesaria para la ejecución de todas las reacciones que integran el metabolismo. Por otra parte, la importancia de la fotosíntesis es esencial en la vida humana y animal, ya que contribuye de manera fundamental a purificar la atmósfera y a enriquecerla de oxígeno. El proceso fotosintético tiene dos fases, una luminosa y otra oscura.

Fase luminosa. — La *fase luminosa* o *fotoquímica* es aquella en que la energía luminosa se transforma en energía química, por un fenómeno de *fotofosforización*, gracias al componente grana de los cloroplastos. La

unión de fosfato y A. D. P. (difosfato de adenosina) produce A. T. P. (trifosfato de adenosina), reacción en la que interviene la energía luminosa absorbida en la fotosíntesis. Esta fase supone la rotura de moléculas de agua por la acción combinada de la luz y de la clorofila, originándose así oxígeno e hidrógeno. El primero queda libre y el segundo se fija en un receptor.

Fase oscura. — Los fenómenos químicos no necesitan la presencia de la luz en esta *fase oscura* y consisten esencialmente en la fijación de CO_2, por vía reductora, en los cloroplastos a través de procesos consecutivos e inversos a la respiración, en los que este anhídrido carbónico combinado con el difosfato de ribulosa, se escinde en doble molécula de ácido fosfoglicérido. Este origina posteriormente aminoácidos y ácidos grasos, a la vez que se liberan A. D. P. y N. A. D. P. (fosfato de nicotinamida-adenina-dinucleótido).

Otros sistemas de nutrición. — Además de los mecanismos fotosintéticos respecto a la nutrición de las plantas verdes que se acaban de describir, existen otros que son propios de las plantas carentes de clorofila. Los más importantes son el *saprofitismo*, alimentación basada en materias orgánicas en descomposición, la *simbiosis*, asociación de dos plantas (un hongo y un alga dan un liquen), y el *parasitismo*, en el que las plantas viven a expensas de otros seres, vegetales o animales.

MOVIMIENTOS

Las plantas unicelulares pueden moverse, lo que les permite cambiar de localización y huir así de ambientes desfavorables por medio de flagelos o por natación.

En las plantas superiores, en cambio, las reacciones se producen por la excitabilidad del vegetal ante los estímulos exteriores. La menor movilidad que tienen, comparada con los animales, se debe sobre todo a las membranas celulósicas y no a una constitución fundamentalmente diferente. Existen, además de los *tropismos* y *tactismos*, varios tipos de movimiento en las plantas, llamados *protoplasmáticos*, *nictotrópicos* y los *provocados por contacto*.

Tropismos y tactismos. — Los *tropismos* y *tactismos* son movimientos determinados y orientados por un medio exterior a la planta; los primeros solamente afectan a una parte de la misma, mientras que los segundos consisten en el desplazamiento de toda ella.

El *geotropismo* se observa en la raíz, ya que ésta en su crecimiento va buscando la verticalidad hacia el interior. El tallo posee *fototropismo* al desarrollarse en dirección a la luz solar. Se dice que el tropismo es positivo o negativo, según que la dirección del movimiento sea hacia o en contra del medio en que se encuentra la planta. Así el tallo tiene fototropismo positivo o geotropismo negativo, lo que, en términos más usuales, quiere decir que tiende hacia la luz del Sol o crece en dirección opuesta a la Tierra. La punta de la raíz actúa como un verdadero órgano sensorial, capaz de percibir la fuerza de gravedad, y es comparable, en cierto modo, a los órganos del equilibrio en los animales. Como ejemplos de *fototactismo* puede señalarse el de los cloroplastos de una hoja verde, que cambian de posición según el ángulo de iluminación. Cuando las bacterias de las leguminosas se dirigen hacia las radicelas jóvenes, se produce un caso de *quimiotactismo*.

Protoplasmáticos. — Las células vegetales suelen tener una membrana celulósica que las hace indeformables y, tras ésta, se encuentra otra membrana albuminoide que, observada al microscopio, es móvil. El protoplasma se desplaza en el interior de cada célula, en el pequeño espacio que delimita la mencionada membrana rígida, mediante un movimiento lento y cíclico. Los plastos y otros orgánulos que se encuentran en el protoplasma se dirigen del centro a la periferia o bien efectúan el camino inverso.

Nictotrópicos. — Casi todas las plantas de la familia de las leguminosas abren las hojas mientras brilla el Sol y las repliegan en la oscuridad. Estos movimientos, provocados por la alternancia de los días y de las noches, se llaman *nictotrópicos*. Los folíolos del trébol y de la alfalfa, por ejemplo, se inclinan y se aproximan por la cara superior, y los de la acacia blanca y la habichuela hacen lo mismo por la cara inferior. Tanto en un caso como en otro, la planta disminuye la superficie expuesta a la radiación nocturna. Más acentuados aún son los movimientos de la sensitiva *(Mimosa pudica)*, cuyos pecíolos y folíolos se inclinan hacia el suelo y por las caras superiores durante la noche, y ocurre exactamente igual en el dondiego de noche *(Mirabilis jalapa)* y en otras plantas nictagináceas.

Provocados por contacto. — Algunas plantas reaccionan con movimientos muy bruscos si reciben golpes, presiones, pinchazos o, incluso, corrientes de aire. Así sucede con la ya mencionada sensitiva, que adopta la posición nocturna con sólo tocarla. La dionea o atrapamoscas y la drosera están dotadas de pelos táctiles que provocan el cierre instantáneo de la hoja cuando en ella se posa un insecto, que queda así capturado y es digerido mediante una secreción ácida rica en pepsina.

Reproducción

Las plantas se perpetúan por *multiplicación* o por *reproducción*. La multiplicación no necesita de órganos especiales y se efectúa por medio del aparato vegetativo, del cual se separa una parte para producir una nueva planta, por lo que recibe también el nombre de *multiplicación vegetativa*. La reproducción propiamente dicha se realiza gracias a células diferenciadas y puede ser *agámica*, sin intervención de los gametos, *singámica*, con fecundación, y *alternante*, si participa sucesivamente de una y otra modalidad.

Multiplicación vegetativa. — Este medio de perpetuación es bastante común entre las plantas. Consiste básicamente en la regeneración de un vegetal completo a partir de un fragmento del aparato vegetativo (raíz, tallo u hoja) de otro. Puede producirse naturalmente, como en el caso de las bacterias, que se multiplican por división, y en el de las levaduras, que lo hacen por gemación, o artificialmente por medio de estacas, acodos e injertos.

El procedimiento de la **estaca** consiste en separar de una planta un trozo de tallo u hoja, llamado estaca, esqueje o cogollo, que se hunde en la tierra para que forme raíces y ramas adventicias. El **acodo** es una simple estaca que se separa de la planta madre cuando han brotado las raíces adventicias. Este método es muy seguro, ya que la nueva planta se nutre directamente de la madre hasta que alcanza una resistencia lo suficientemente grande como para vivir libremente. El **injerto** es la implantación de un vegetal en otro. Se realiza sobre una planta llamada *patrón* o *portainjerto*, con la cual se establece una relación de provecho mutuo (simbiosis). Para ello es necesario poner en contacto las capas

generadoras liberoleñosas de ambas plantas, a fin de que la comunicación entre los tejidos permita el intercambio de savias.

Existen varios tipos de injertos : por aproximación, de corona, de escudete, etc. Han de unirse, para que resulte eficaz este procedimiento, plantas capaces de vivir asociadas, lo cual no quiere decir que éstas hayan de ser obligatoriamente de la misma especie, ni siquiera de la misma familia, puesto que las afinidades biológicas en el mundo vegetal son muy peculiares. Así, el peral puede perfectamente injertarse en el membrillo y éste en el espino blanco; sin embargo, el injerto en orden inverso es imposible. Más curioso aún es el hecho de que el peral se injerta mal en el manzano, a pesar de que este último se encuentra más próximo a él que el membrillo. La col, sin embargo, puede injertarse en el tomate, aunque estas plantas pertenecen a familias muy diferentes.

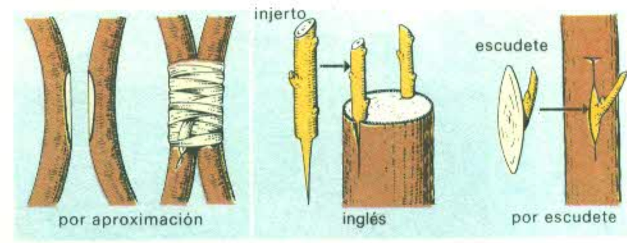
Reproducción. — *Agámica.* — Muchas plantas pueden reproducirse de manera *agámica*, es decir, sin la intervención de gametos o células sexuales. Es el caso del hongo, que consta de un pie y un sombrerillo o sombrerete, en cuya parte inferior se encuentra una estructura multilaminar. Al borde de esas láminas están localizados los *basidios*, células especializadas en la formación de esporas, que, cuando caen en un suelo húmedo, germinan y originan nuevos *micelios*. Estos últimos se ramifican en filamentos blancos tabicados *(hifas)* y constituyen el aparato vegetativo o *talo* del nuevo hongo. Los musgos y helechos se reproducen también por medio de esporas, como también lo hacen generalmente los vegetales que carecen de flores.

Singámica. — La *singamia* es la polinización cruzada de las plantas que florecen y puede realizarse por esporas o por semillas. Existe una previa fecundación, tras la cual se forma la célula huevo con la intervención de células sexuales, que son características de las plantas superiores. El órgano reproductor exclusivo es la flor.

Alternante. — La reproducción *alternante*, llamada también *alternancia de generaciones*, tiene lugar tanto en vegetales inferiores como en superiores. Suele suponer la existencia de individuos independientes y diferenciados morfológicamente. Consiste en un ciclo de reproducción sexual, seguido de otro asexual, lo que va unido a una alternancia de fases nucleares simultáneas.

La flor

La *flor*, órgano de la reproducción en las plantas fanerógamas, es un conjunto de hojas que han sufrido una modificación en el extremo de una rama o pedúnculo.

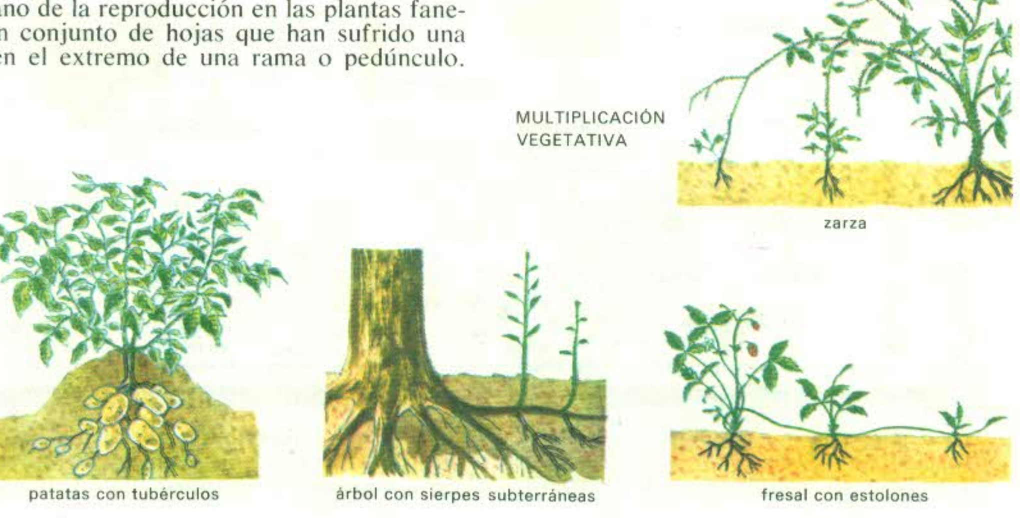


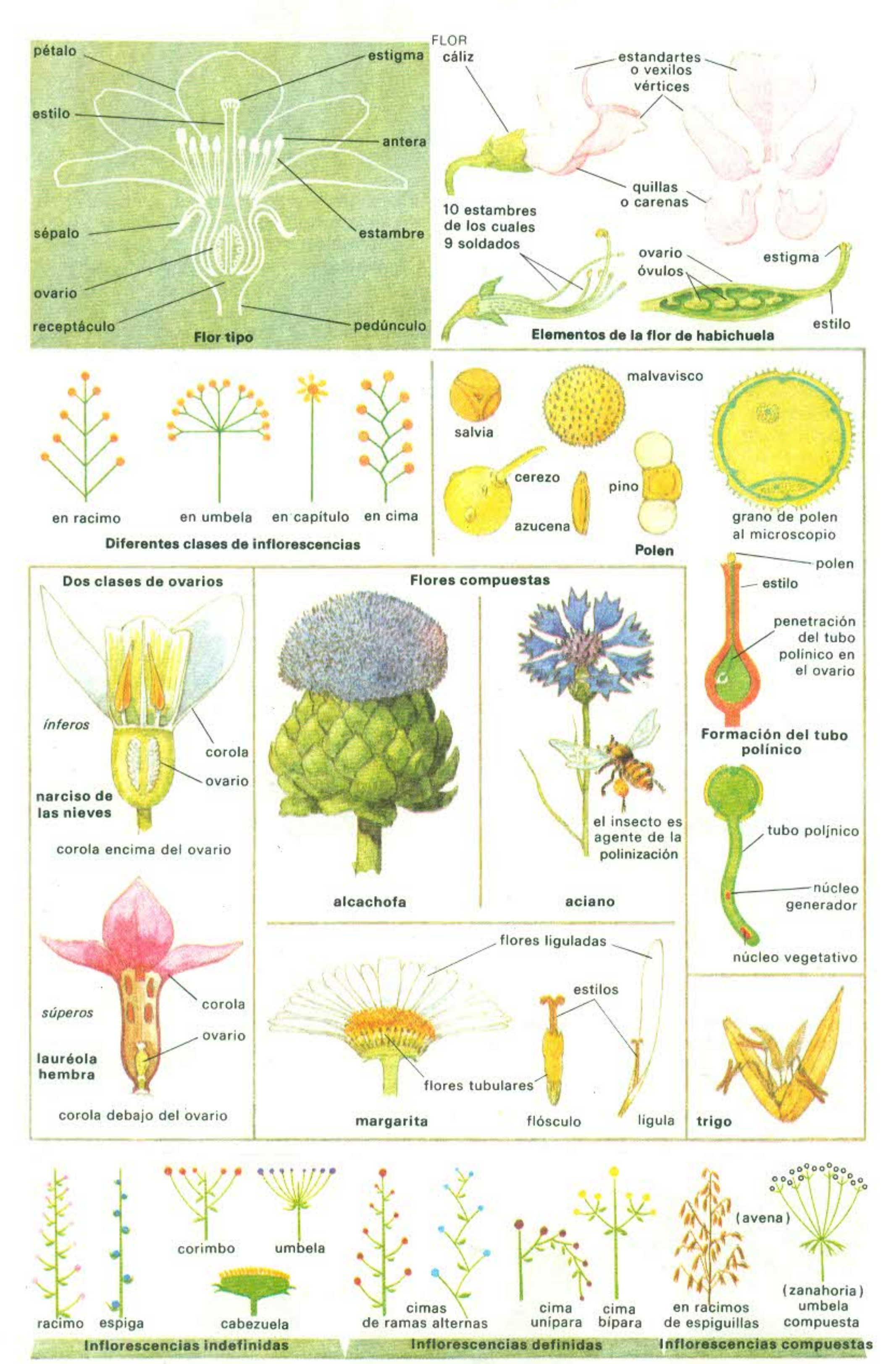
injertos

Morfología. — Una flor completa consta de cáliz, corola, androceo y gineceo, formados cada uno por diferentes piezas. Las del **cáliz,** generalmente verdes, son los *sépalos*, las de la **corola,** coloreadas, constituyen los *pétalos*, y el conjunto de cáliz y corola, que no desempeña ningún papel en la reproducción, recibe el nombre de *periantio*. El **androceo** está formado por los *estambres*, compuestos de un pecíolo delgado y del filamento, que soporta la *antera* u órgano masculino por donde sale el *polen;* los granos de polen, que constan de una membrana externa y otra interna *(exina* e *intina)*, se encuentran dentro de unas celdillas llamadas *tecas*. El **gineceo,** llamado también *pistilo*, es el órgano femenino de la flor y está constituido por los *carpelos*, divididos en *ovario*, *estilo* y *estigma*.

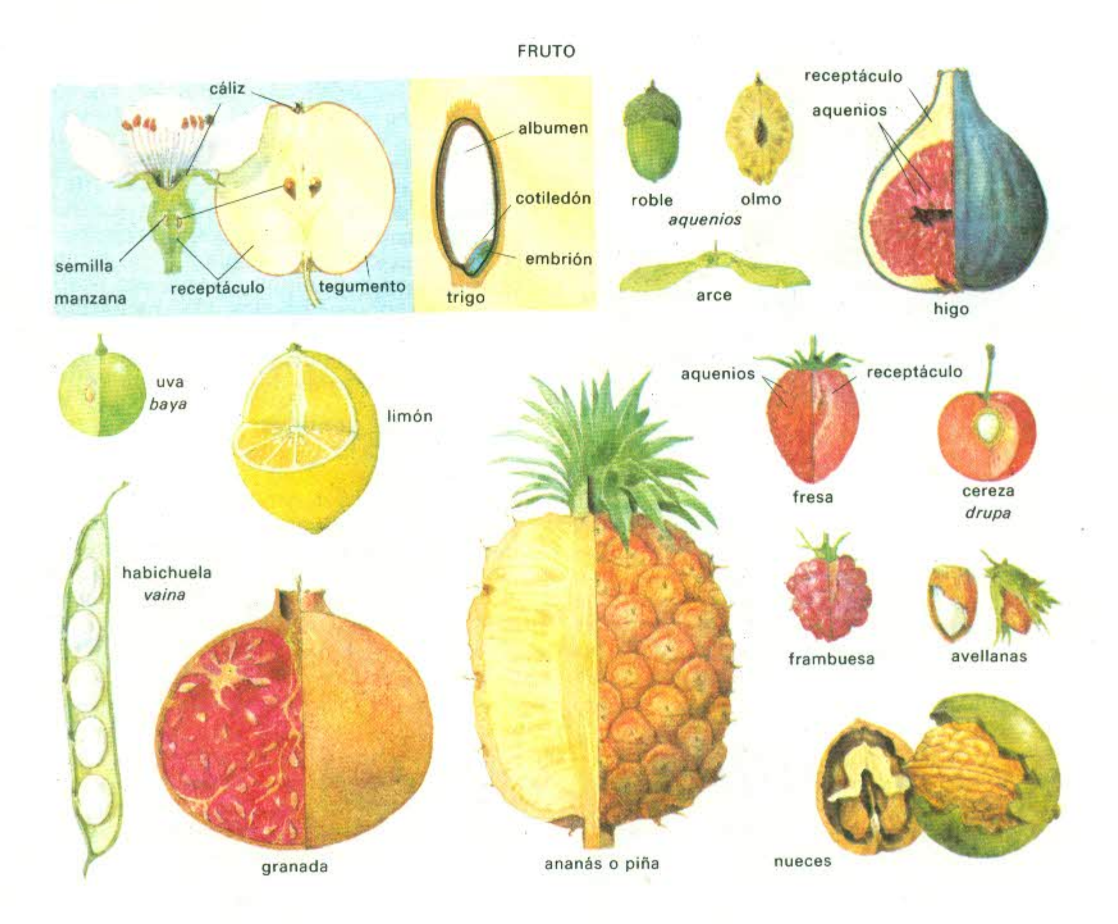
Puede decirse, por tanto, que el periantio realiza una misión de protección, el androceo y el gineceo son los órganos fértiles, la corola, por su color y aroma, atrae a los insectos florícolas que favorecen y realizan la polinización, que puede también ser llevada a cabo artificialmente por el hombre, y el cáliz efectúa una notable actividad clorofílica.

Fisiología. — La flor, cuya función esencial es asegurar la reproducción de la especie por medio de órganos especializados, se convierte en fruto. En el interior de este mismo se forma o aparece una semilla que hará posible el nacimiento de otra planta semejante.





INFLORESCENCIA



Los anterozoides del grano de polen llegan hasta la oosfera contenida en el óvulo y la mezcla de estos dos gametos da lugar a un huevo, primera célula de la planta hija, que se transforma luego en embrión. El óvulo se desarrolla hasta convertirse en semilla y del ovario surge el fruto. Este proceso se divide en varias fases : polinización, germinación del polen y fecundación.

La **polinización,** o transporte del polen hasta los estigmas, se produce por contacto, por caída, por la acción del aire o por los insectos; si tiene lugar dentro de una misma flor o entre dos se llama *polinización directa* o *cruzada,* respectivamente. Tras la polinización, el grano queda adherido al estigma, debido a la impregnación viscosa de éste. Se forma entonces un tubo polínico que, introduciéndose por el estilo, llega hasta el saco embrionario y el óvulo absorbe el grano de polen y crea dos anterozoides o núcleos espermáticos, que se sitúan en el extremo de dicho tubo. Esta fase es la denominada **germinación del polen.** Posteriormente, cuando las células espermáticas penetran en el interior del saco embrionario, se llega a la **fecundación,** en la cual un gameto masculino se une a la oosfera para dar un huevo o cigoto, origen del embrión de la semilla, y el otro gameto se integra en el núcleo secundario para constituir, por división, el tejido nutricio, llamado *albumen.* Los tegumentos del óvulo, al producirse la maduración, se transforman en fruto, mientras que la semilla, al germinar, da lugar a una nueva planta.

El fruto

Una vez alcanzada la maduración, iniciada inmediatamente después de la fecundación, el ovario se convierte en *fruto* y los óvulos en *semillas.* Finalizado este proceso, las semillas se dispersan y dan lugar a la germinación.

El fruto, cuya pared o pericarpio puede ser seca o carnosa y simple o compuesta de varias capas, será simple si la flor es monocarpelar (cereza, manzana).

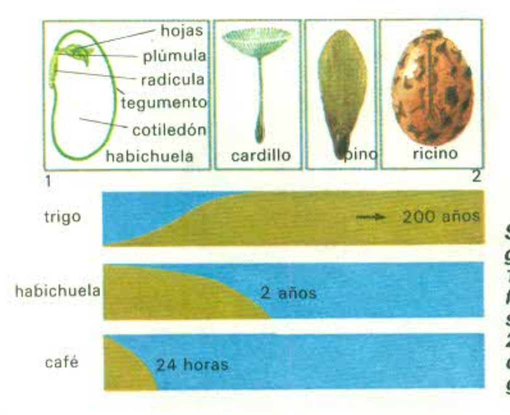
Partes del fruto. — El fruto consta de una **semilla** envuelta en un **pericarpio,** dividido en *epicarpio* o parte externa, *mesocarpio* o parte media y *endocarpio* o zona interna. En el siguiente esquema puede observarse mejor esta estructura :

SEMILLA	tegumento (piel)	
	almendra	albumen embrión
PERICARPIO	epicarpio mesocarpio endocarpio	

Clases de frutos. — Existen varias clases de frutos : secos o carnosos, dehiscentes o indehiscentes, simples o compuestos.

En los *frutos secos dehiscentes* se distinguen folículos, silicuas, cápsulas y píxides; en los *secos indehiscentes* se ven aquenios, sámaras, cápsulas y cariópsides; y en los *carnosos* hay reservas de sustancias nutritivas como el almidón y el azúcar, que dan a éstos gran importancia en la alimentación humana. Dentro de este último grupo se encuentran las bayas (tomate, uva), los pomos (manzana, pera) y las drupas (melocotón, aceitunas, almendras), que se pudren al caer al suelo, facilitando con ello la diseminación.

La fresa es un claro ejemplo de *fruto compuesto* y poliaquenio, al tener una parte roja y carnosa cubierta de *aquenios* o semillas negras que constituye el receptáculo de la flor, hinchado al cargarse de sustancias



Semillas y germinación : 1. Diferentes formas de semillas ; 2. Evolución del poder germinativo.

nutritivas. El higo tiene una estructura similar, con la sola diferencia de que los aquenios se hallan contenidos en el *sicono*, receptáculo hueco y carnoso. Las moras o las frambuesas son aglomeraciones de drupas y la piña o ananás, de formación algo más compleja, consta de varias bayas y brácteas carnosas soldadas en una sola masa, cuyo aspecto exterior se asemeja al fruto del pino.

La semilla

Ya se ha explicado como el huevo principal se convierte en embrión y el secundario en albumen. Las membranas exterior *(primina)* e interior *(secundina)* del óvulo se transforman en los tegumentos de la semilla.

Partes de la semilla. — En la semilla se distinguen los **tegumentos** y la **almendra.** El tegumento procede de la intervención de la primina y la secundina, pero, al reabsorberse esta última, la primera acaba espesándose y endureciéndose. La almendra encierra un embrión que consta de una radícula, un tallo y unas hojitas o *cotiledones*, que pueden ser uno (plantas monocotiledóneas) o dos (plantas dicotiledóneas).

Clases de semillas. — Existen, según el grado de complejidad, cuatro clases de semillas : las que poseen albumen y perispermo (tejido de reserva), como las de la pimienta o del nenúfar; las que tienen albumen y carecen de perispermo, como la del ricino; las que están faltas de albumen, por haberlo digerido el embrión, y cuyos cotiledones crecieron desmesuradamente, como es el caso de la judía o frijol; y, por último, las que están cubiertas de tegumento, como el trigo, que puede considerarse como un fruto cariópside, al tener un pericarpio delgado soldado al tegumento.

Botánica descriptiva

Se aplicará al estudio de los vegetales el mismo criterio que el empleado para la descripción del reino animal. La sistemática será similar y basada en la que estableciera el naturalista sueco LINNEO en el siglo XVIII. Se adoptará, por lo tanto, la nomenclatura binaria, poniendo en primer lugar el nombre genérico, seguido del específico. No obstante, el concepto de especie es objeto de discusiones entre los científicos, sin que se haya llegado a un acuerdo universal respecto a este punto.

Clasificación de los vegetales. — Linneo dividió el reino vegetal en dos grandes grupos : *criptógamas*, plantas sin flores o con órganos reproductores más o menos ocultos, y *fanerógamas*, las que tienen flores. Podrían también clasificarse los vegetales en *protofitos* y *metafitos*, según estén formados por una o varias células. Se ha preferido, sin embargo, tomar como puntos de referencia la naturaleza de los órganos reproductores, la diferenciación del aparato vegetativo y la presencia o ausencia de clorofila.

Se suele considerar que las plantas criptógamas son vegetales inferiores y las fanerógamas superiores, a pesar de la inexactitud que encierra esta afirmación desde un punto de vista puramente naturalista. Teniendo en cuenta esas consideraciones, puede establecerse una clasificación general de las plantas, de acuerdo con el siguiente esquema :

Reino vegetal

GRUPO	TIPO	SUBTIPO	CLASE
Criptógamas	Protofitas		Bacterias Cianofíceas
	Talofitas		Hongos Algas Líquenes
	Briofitas		Hepáticas Musgos
	Pteridofitas		Filicíneas Equisetíneas Licopodíneas
Fanerógamas	Espermafitas	Gimnospermas Angiospermas	Monocotiledóneas Dicotiledóneas

En los dos capítulos siguientes, dedicados a las criptógamas y a las fanerógamas, se estudiarán los prototipos seleccionados para que se pueda disponer de una información básica del mundo vegetal.

Criptógamas

Protofitas : Bacterias. Cianofíceas. — Talofitas : Hongos : Ficomicetos. Ascomicetos. Basidiomicetos. *Hongos comestibles. Hongos venenosos.* — Algas : Clorofíceas. Feofíceas. Rodofíceas. — Líquenes. — Briofitas : Hepáticas. Musgos. — Pteridofitas : Filicíneas. Equisetíneas. Licopodíneas.

Se suele agrupar bajo el nombre de *criptógamas* las plantas que, al carecer de flores, tienen una reproducción oculta. Se pueden dividir en cuatro tipos : *protofitas, talofitas, briofitas* y *pteridofitas.*

PROTOFITAS

Las *protofitas* son plantas, unicelulares o pluricelulares, sin plastos, que se reproducen generalmente por escisión. Se dividen en dos clases : *bacterias* y *cianofíceas.*

Bacterias. — Las *bacterias*, que según algunas teorías bastante difundidas en la actualidad no forman parte del mundo de la Botánica o de la Zoología, son organismos muy primitivos, faltos de clorofila, de forma espiral y de un tamaño que oscila entre 0,1 y 2 micras. Se encuentran en casi todos los medios y suelen tener esencialmente carácter parásito o saprofito. Actúan como agentes patógenos (tifus, neumonía, difteria, etc.). Se clasifican en globulares o cocos, alargadas o bacilos, espirales y filamentosas, aunque la mayoría de ellas son capaces de cambiar de forma según las condiciones del medio (polimorfismo). Durante largo tiempo se creyó que nacían por generación espontánea en las materias putrefactas. El célebre biólogo francés Louis PASTEUR (1822-1895) demostró la falsedad de esa teoría y, gracias a sus investigaciones, dio a conocer el papel que estos organismos desempeñan en las fermentaciones y en las enfermedades contagiosas.

Cianofíceas. — Las *cianofíceas* son plantas de un nivel organizativo algo superior a las bacterias; tienen forma generalmente filamentosa y color azulado cuando están agrupadas en masa. Constituyen gran parte del plancton marino. Son autótrofas, es decir que se nutren sólo de compuestos inorgánicos, y de reproducción asexual. Poseen pigmentos y clorofila. Entre ellas se encuentran las algas azules, llamadas también *mixofíceas* o *esquizofíceas*, por la posibilidad que tienen sus células de reproducirse por escisión directa. Las cianofíceas, a pesar de las afinidades estructurales de las células, muestran casi siempre una notable heterogeneidad, lo que permite agruparlas en los órdenes *croococales, camesifonales* y *pleurocapsales* u *hormogonales.* Varias especies viven en aguas termales a 70 ºC y, en general, en un medio rico en sustancias orgánicas y sales disueltas.

TALOFITAS

Las *talofitas*, cuyas especies más sencillas apenas pueden distinguirse de las protofitas más evolucionadas, poseen un aparato vegetativo formado esencialmente por un *talo* unicelular o pluricelular. En el segundo caso existen filamentos entrelazados que, a veces, dan lugar a láminas o macizos similares a hojas y tallos.

Desde el punto de vista nutricional, ciertas talofitas tienen clorofila y viven exclusivamente de materias inorgánicas (autótrofas), mientras que otras carecen de ella y se alimentan de materias orgánicas (heterótrofas). El último tipo mencionado se divide en las variedades de *hongos, algas* y *líquenes.*

Hongos

Los *hongos*, talofitas sin clorofila, son siempre saprofitos o parásitos. Contienen glucógeno, lo que los aproxima al mundo animal, y se dividen en tres órdenes : *ficomicetos, ascomicetos* y *basidiomicetos.* Poseen un aparato vegetativo, desprovisto de raíz, tallo y hojas, consistente en un talo o micelio.

Ficomicetos. — Los *ficomicetos*, llamados también *oomicetos*, constan de un talo o micelio constituido por un entrecruzamiento de filamentos ramificados, pero sin tabiques *(hifas).* Se reproducen por esporas o por óvulos, según sean las condiciones ambientales. El micelio del *múcor* o *moho blanco* se encuentra en el pan húmedo o en los excrementos de caballo y el del *mildiu* o *mildeu* vive entre las hojas de la vid, causando una enfermedad al chupar el jugo celular de esta planta por medio de chupadores o *haustorios.*

Ascomicetos. — Los *ascomicetos* son hongos que poseen *ascas* (celdillas), cuyas *ascosporas* (huevos) desempeñan un papel esencial en la reproducción. Ésta, al verificarse unas veces por óvulos y otras por esporas, tiene una *alternancia esporogametofítica.* El talo o micelio está formado por un entrecruzamiento de filamentos ramificados, separados por tabiques. La levadura de cerveza, llamada *saccharomyces*, es una célula ovoide que no excede de diez micras de longitud. El *moho verde* aparece en el pan húmedo, junto al *múcor*, así como en la mermelada, queso, cuero viejo, etc. El micelio se ramifica por la superficie de la materia orgánica de la cual se nutre. La *peziza* es un hongo muy común en la madera muerta, fácilmente reconocible por tener los órganos reproductores en forma de copa. Otros ascomicetos conocidos son la *morilla*, la *trufa* y el *cornezuelo del centeno.*

Basidiomicetos. — Los *basidiomicetos*, dentro de cuyo orden se incluyen los que comúnmente se llaman « hongos », tienen un aparato vegetativo consistente en un talo de filamentos ramificados, entrelazados y tabicados, son pluricelulares y se reproducen por alternancia esporogametofítica, como los ascomicetos, mediante las basidiosporas surgidas en la superficie de unas células llamadas *basidios.* Éstos pueden ser *esticobasidios*, si el huso acromático está en el eje mayor en la división cariocinética, y *quiastobasidios*, cuando su posición es vertical a dicho eje.

La *roya del trigo*, basidiomiceto parásito de dos huéspedes, suele vivir en el trigo o en el agracejo, variando en cada caso la reproducción. También cambia su aspecto externo, lo que muestra hasta qué punto el parasitismo transforma a un ser viviente. El *boleto* o *políporo* tiene innumerables tubos que forman una pared o *himenio*, donde se encuentran los basidios. Algunos de ellos, o *setas*, son comestibles *(Boletus edulis)* y otros venenosos *(Boletus luridus).* El llamado *hongo yesquero*, con un sombrerete sésil, se fija al tronco de los árboles y alcanza grandes dimensiones. Otros basidiomicetos dignos de mención son el *hongo de mantillo* y el *carbón* o *tizón* de los vegetales.


amanita verna
amanita phalloides
falsa oronja o matamoscas
amanita pantherina
cortinarius
entoloma
seta de Satán
seta de Burdeos
fistulina
lepiota
oronja
cagarria
hidnácea
trufa
agáricos comestibles
mortal
venenoso
coprinus
mízcalo
trompeta de los muertos
D. Baillon
sombrerillo
laminillas
anilla o armila
pie
volva
reproducción
esporas
micelio
desarrollo de un hongo
laminillas
libre
emarginada
adnata
escotada
decurrente

Hongos comestibles. — Los principales *hongos comestibles* son ascomicetos (trufas y cagarrias) y basidiomicetos (setas de prado, hongos de mantillo, agáricos, cantarelas, etc.). La *trufa* vive bajo tierra, asociada a raíces o independiente de éstas, y tiene micelio formado por tabiques de filamentos y órganos esporíferos tentaculares. El *hongo de estiércol* o *seta de prado* se cultiva en galerías subterráneas.

Las setas constituyen un alimento muy completo debido a su composición química : 1 por ciento de materias grasas y proteicas, 1 por ciento de sales minerales, 3 por ciento de celulosa, 5 por ciento de glucógeno y azúcares y 90 por ciento de agua. Existen, sin embargo, setas causantes, si se ingieren, de una intoxicación peligrosa, origen de graves lesiones que llegan, en determinados casos, a provocar la muerte.

Hongos venenosos. — Es muy importante saber distinguir entre hongos comestibles y venenosos. Para ello se emplean algunos procedimientos caseros, como cocer los hongos en recipiente de plata y cerciorarse de que ésta no se ennegrece, u observar la presencia de mordeduras de babosas. Sin embargo, hay que prescindir absolutamente de estos métodos, carentes de fundamento científico, como lo prueban los hechos de que el ennegrecimiento lo puede producir el ácido sulfhídrico de una seta algo descompuesta y de que existen hongos inocuos para los animales y venenosos para el hombre. Es, por tanto, imposible encontrar receta segura para juzgar de la toxicidad y lo más recomendable sería tratar de conocer a fondo los caracteres y propiedades de las especies más comunes en la región en que se vive.

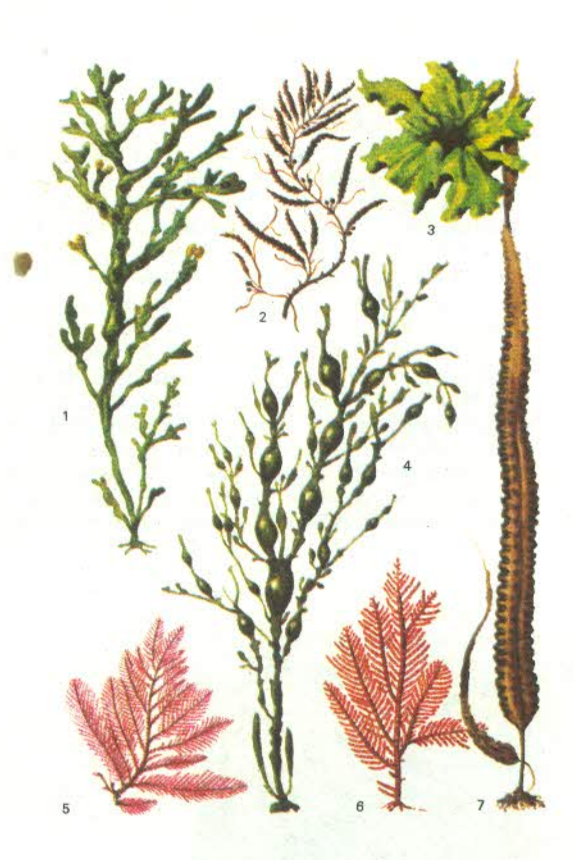
Con objeto de orientar, en líneas generales, al lector, se pueden señalar cuatro categorías de hongos venenosos : los portadores de *hemolisina*, sustancia que destruye los glóbulos rojos de la sangre y desaparece por el calor; los que, como el cornezuelo del centeno, llevan *ergotinina*, alcaloide que, al mezclarse con la harina, es sumamente tóxico y provoca la contracción de las fibras musculares con las consiguientes convulsiones; los productores de *muscaria (Amanita muscaria)*, causantes de vómitos, diarreas, perturbaciones nerviosas, paralización cardiaca y síncopes, cuyo envenenamiento, si se trata a tiempo, no es grave; y los poseedores de *falina*, veneno violento, causante de la degeneración de las células del hígado, riñones y sistema nervioso, cuya ingestión es mortal en el 95 por ciento de los casos. La especie más conocida de este grupo es la *Amanita phalloides*.

Algas

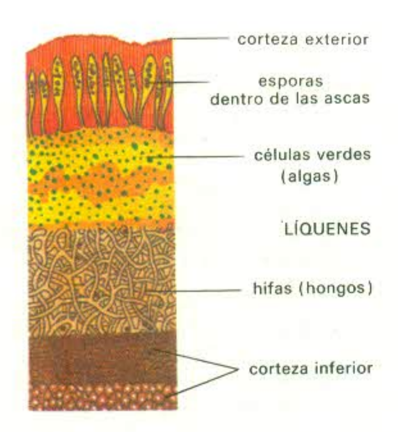
Las *algas* son talofitas autótrofas que poseen clorofila y almidón. Lo mismo que las plantas superiores, pueden vivir en un medio puramente mineral, gracias al anhídrido carbónico y a las radiaciones solares. Tienen una importancia considerable. Muchos pueblos orientales se alimentan con ellas y una variedad roja proporciona el *agar agar*, sustancia de usos diversos. La industria emplea también ciertos fucos para obtener el bromo y el yodo, mientras que la gelosa de las algas rojas se utiliza para aprestar tejidos y papeles. La agricultura recurre asimismo frecuentemente a abonos y fertilizantes que proceden de las algas. Según la pigmentación, estas plantas se dividen en tres órdenes principales : *clorofíceas*, *feofíceas* y *rodofíceas*, de coloración verde, parda y roja, respectivamente, cuyo modo de reproducirse es diferente en cada uno de los casos. Además de las algas talofitas, que son las estudiadas en este apartado, no hay que olvidar que existen también unas *algas azules* (cianofíceas), que se han descrito anteriormente dentro del tipo de las protofitas.

Clorofíceas. — Las *clorofíceas* son algas verdes cuya clorofila se mantiene en el interior de las células gracias a los cloroplastos. Las hay unicelulares y filamentosas; en el segundo caso los filamentos pueden estar divididos por tabiques transversales. Se reproducen por medio de esporas o de óvulos. Entre las unicelulares se encuentran el protococo, la zooclorela y las mónadas, estas últimas ciliadas. Otras, como la vaucheria, la oedegonia, el mesocarpo y la espirogira pertenecen al tipo filamentoso.

Feofíceas. — Las *feofíceas* son algas de color pardo, cuya clorofila se halla más o menos cubierta por un pigmento soluble en agua llamado *ficofeína*. Tienen un talo formado por un conjunto de filamentos, siempre tabicados y estrechamente unidos, que constituyen láminas u órganos macizos muy parecidos a raíces, tallos y hojas. Carecen de tejidos diferenciados y de vasos conductores de savia. La reproducción se realiza mediante esporas u óvulos, a veces con alternancia regular. A este orden pertenecen las *diatomeas*, que viven tanto en el agua dulce como en el mar y forman parte de la mayoría de los microorganismos flotantes cuyo conjunto se conoce con el nombre de *plancton*. Si se tratan con ácido, se disuelve todo el cuerpo, salvo el caparazón. Cuando mueren, caen al fondo del mar esos caparazones y, al acumularse, forman los barros silícicos o sílice pulverulenta, llamada *harina fósil*. El *fuco*, conocido también con los nombres de *ova* o *varec*, abunda en las costas y puede verse en las rocas en el momento de la bajamar. Más retiradas del litoral se encuentran las *laminarias*, que pueden incluso alcanzar varios metros de longitud.



Algas : 1. Fucus vesiculosus; 2. Sargazo; 3. Ulva lactua o lechuga de mar; 4. Ascophyllum; 5. Heterosifonal; 6. Coralina, que vive adherida a las rocas; 7. Laminaria.



Rodofíceas. — Las *rodofíceas*, o *algas rojas*, reciben también el nombre de *florídeas*. Viven casi exclusivamente en el mar y presentan un talo de formas muy variadas (filamentosa, laminar o maciza). A veces están impregnadas de carbonato cálcico (calíceas). La reproducción da lugar a una alternancia esporogametofítica, con predominio del gametofito. El prototipo de esta clase de algas es el *nemalión*, de filamentos periféricos, cuyos órganos machos o *anteridios*, agrupados en las extremidades de ciertas ramificaciones, producen cada uno un solo *anterozoide*, desprovisto de órgano locomotor, que se deja arrastrar por el agua hasta llegar a un órgano femenino u *oogonio*. Las algas rojas se diferencian bastante de las laminarias, pero tienen, en cambio, cierto parecido con los musgos, que se estudiarán posteriormente.

Líquenes

Se termina el estudio de las talofitas con los *líquenes*, asociaciones o simbiosis de algas y hongos. Estas plantas crecen en todas partes, incluso en las regiones polares, donde constituyen el único alimento vegetal de los habitantes y animales (renos). Las semillas pueden ser transportadas por el aire desarrollándose de ese modo en cualquier terreno virgen así como sobre las rocas, muros viejos, troncos y hasta en los vitrales policromados de las iglesias, que llegan a veces a destruir. El talo, de tipo foliáceo, ramificado, incrustado o gelatinoso, se compone de las *hifas* o filamentos micélicos entrelazados de un hongo (generalmente ascomiceto) y de los *gonidios*, células verdes del alga (casi siempre un protococo).

Hay que distinguir la reproducción del alga, la del hongo y la de la asociación de ambos. El alga verde se multiplica por división celular, el hongo por *peritecios*, cuerpos productores de ascas fijados en la cara convexa del talo, y el líquen por esquejes o *soredios*, red de filamentos enlazados con ciertos gonidios que forma una especie de depósito pulverulento en la superficie del talo.

Gracias a la simbiosis, el hongo protege al alga y retiene a su alrededor la humedad que ésta necesita, pero el alga elabora hidratos de carbono con los que se alimenta el hongo. Dicho de otro modo, la función mecánica y física de uno se complementa admirablemente con la acción química de la otra.



Musgo pleurocarpo.

BRIOFITAS

Las *briofitas*, plantas generalmente terrestres cuyo crecimiento se produce mediante la segmentación de una célula apical, se dividen en *hepáticas* y *musgos*. Carecen de sistema vascular, representado a veces por un simple cordón conductor central. La reproducción se efectúa por medio de esporas que, al germinar, originan un *protonema*, órgano filamentoso, sobre el que se forma el *gametofito*. Tras la fecundación, el *esporofito* vive como parásito en el gametofito.

Hepáticas. — Las *hepáticas* se consideran como el nivel inferior de las briofitas, con un talo laminar apenas más evolucionado que el de las algas feofíceas. Un corte vertical del mismo permite observar una epidermis incolora, masas de células clorofílicas, cámaras respiratorias, semejantes a estomas, y un líquido bastante fluido, constituido principalmente por agua. Las plantas más conocidas de esta clase, las marchantias, tienen cámaras aéreas delimitadas por tabiques con filamentos asimiladores en el interior.

En el momento de la reproducción aparecen en el talo de las marchantias *(Marchantia polymorpha)* órganos masculinos, con el borde lobulado y *anteridios* en la cara superior, y órganos femeninos en la parte inferior, consistentes en *arquegonios*, cada uno de ellos con la correspondiente *oosfera*. La fecundación tiene lugar después de que haya llovido, porque el agua facilita el desplazamiento de los anterozoides hacia las oosferas. Los óvulos se desarrollan posteriormente en esporogonios y viven parásitos sobre las hembras. Al salir las esporas al exterior se reproduce una nueva hepática. Ésta se divide en más de ocho mil especies repartidas por toda la Tierra, aunque abundan sobre todo en las regiones cálidas y húmedas. Viven sobre el suelo, las rocas o los troncos de los árboles.

Musgos. — Los *musgos*, plantas de un nivel organizativo más elevado que las hepáticas, poseen un aparato vegetativo diferenciado, tallo foliáceo y falsas hojas, y crecen formando capas sobre la tierra, rocas o árboles.

El gametofito que tienen se encuentra en unas estructuras tabicadas y ramificadas semejantes a raíces, que reciben el nombre de *rizoides*. Aun cuando pueden hacerlo vegetativamente, el modo normal de reproducción es por vía sexual mediante *anteridios* pedunculados y *arquegonios* en forma de ampollas. Para la fecundación es necesaria la presencia de agua y, a partir del óvulo fertilizado, se desarrolla el *esporofito*, que consta de un pie, un pedúnculo y una cápsula, órgano cubierto por una caperuza o cofia que contiene las esporas. Cuando, al madurar, la cofia se desprende y se abre el peristoma, las pequeñas esporas se diseminan por el aire y, si caen en un terreno húmedo, germinan formando un *protonema* del que brotan unas ramas verticales que constituyen el gametofito. Entre los musgos más conocidos se encuentran los *esfagnales*, que se crían en las turberas, los *andreales*, que crecen en el granito, y los *briales*, que tienen un saco esporógeno.

PTERIDOFITAS

Las *pteridofitas* reciben también la denominación de *criptógamas vasculares*, ya que carecen de flores y tienen una reproducción más o menos encubierta como las briofitas y talofitas. Poseen tejidos y vasos, de donde les viene el nombre de vasculares, y un aparato vegetativo que consta de raíz, tallo y hojas. Son plantas autótrofas y se reproducen con alternancia esporogametofítica, con predominio del esporofito. Se dividen en tres clases : *filicíneas*, *equisetíneas* y *licopodíneas*.

Filicíneas. — Las *filicíneas* o *helechos* abundan en las regiones cálidas y húmedas, pero también crecen en las zonas templadas. Algunas de ellas son acuáticas. Tienen un aspecto exterior variable : tallos subterráneos o *rizomas* y aéreos o *estípites*, en cuyo caso tienen forma arborescente. La reproducción se efectúa por ciclos alternantes. En el interior del esporofito, formado por unas agrupaciones de esporangios llamadas *soros*, se producen esporas de núcleo haploide. Las células madres de estas esporas son diploides, pero, al dividirse, sufren una *meiosis*, y el número de cromosomas se reduce a la mitad, convirtiéndose así en haploides. Si una de las esporas cae en tierra húmeda, germina y da lugar a una lámina acorazonada de color verde que se fija al suelo por finos rizoides *(protalo)* y absorbe el agua. Luego aparecen sobre esa pequeña planta los órganos masculinos o *anteridios* y los femeninos o *arquegonios*. Los anteridios, situados en la extremidad del protalo, son unas bolsitas cuya pared se abre al llegar a la madurez liberando así los *anterozoides*, células arrolladas en espiral y con unos cilios vibrátiles en la punta. Los arquegonios tienen forma de botella y solamente el cuello de los mismos, obstruido por un tapón mucilaginoso y adherente, sobresale del protalo. La oosfera o gameto femenino se encuentra alojada en el interior del arquegonio. El huevo o cigoto, una vez constituido, se divide sucesivamente en dos, cuatro, ocho, etc. células para formar el embrión, que vive parasitariamente sobre el protalo hasta que llega a poseer clorofila y se transforma en autótrofo. De este modo surge, finalmente, un nuevo helecho.

Los helechos más característicos de Europa meridional son el *Polypodium vulgare*, de hojas pinadas o pinnadas, el *Pteridium aquilinum*, de hojas bipinadas, los helechos macho, hembra y real, y el culantrillo negro *(Asplenium adiantum nigrum)*, común en la Península Ibérica. Se han encontrado también helechos fósiles, de estructura herbácea o arborescente.

Equisetíneas. — Las *equisetíneas* son plantas que, por su aspecto, se conocen con el nombre de *colas de caballo*. En la Era Primaria fueron muy frecuentes y de estructura arborescente, como ha podido comprobarse en los fósiles encontrados. En algunas regiones han llegado a formar grandes depósitos de hulla. Tanto los tallos aéreos como los rizomas de las equisetíneas presentan articulaciones transversales, los primeros con hojas rudimentarias que forman una vaina. Un corte transversal permite ver un esclerénquima y un parénquima cortical con lagunas, así como una serie de hacecillos liberoleñosos.

Para la reproducción, algunas ramas terminan en una espiga esporífera, con forma de clavo y cabeza hexagonal, en la que se sitúan los esporangios, que, al llegar la madurez, se abren liberando así las esporas. Aunque éstas son aparentemente iguales, unas dan lugar a protalos masculinos y otras a protalos femeninos. Las equisetíneas, por tanto, son *heterospóreas*. La desecación favorece la dehiscencia del esporangio que, al



Envés de una hoja de helecho con esporangios.

Detalle de la agrupación de los esporangios.



abrirse, permite la dispersión de las esporas a causa simplemente de la acción del viento.

Los tallos estériles, aparecidos al marchitarse los brotes fértiles tras la esporulación, son ricos en clorofila y sintetizan las materias nutritivas, las cuales, almacenadas en los rizomas, servirán de alimento para las siguientes ramas fértiles. El resto del ciclo reproductivo es análogo al de los helechos.

Algunas especies alcanzan dos metros de longitud, como es el caso del *Equisetum maximum*. La cola de caballo propiamente dicha es el *Equisetum arvense*, mientras que el *Equisetum hiemale* es vulgarmente conocido como rabo de lagarto o hierba estañera.

Licopodíneas. — Las *licopodíneas* que existen actualmente son de pequeño tamaño y recuerdan los licopodios arborescentes que abundaron en el Carbonífero. La raíz y el tallo de estas plantas se dividen por dicotomías y las hojas pequeñas están dispuestas a lo largo de los ramos. La raíz posee tres células iniciales superpuestas y los órganos reproductores son similares a los de los helechos. No obstante, las licopodíneas presentan características organizativas que las sitúan a un nivel superior a las anteriores pteridofitas.

Existen licopodios *homospóreos*, es decir, que producen esporas iguales, y otros *heterospóreos*, cuyos macrosporangios dan *macrosporas*, de tamaño mucho mayor que el de las *microsporas*, originadas en el ápice de las espigas. Las primeras engendran los protalos femeninos y las segundas los masculinos, con arquegonios y anteridios, respectivamente. Las licopodíneas comprenden los órdenes licopodiales y selaginelales. En el primer grupo se destaca el licopodio *(Lycopodium)*, con esporas pulverulentas de color amarillo, y en el segundo existen más de setecientas especies, la mayoría de ellas tropicales. La selaginela *(Selaginella rupestris)* es de pequeño tamaño y trepadora, con un protalo femenino que nunca abandona la planta madre.

Fanerógamas

Gimnospermas : División. Pino silvestre. Otras coníferas. Filogenia de las coníferas. — Angiospermas : Dicotiledóneas. División. Roble. *Especies diversas.* Guisante. Patata. — Monocotiledóneas. División. Trigo. — Otras gramíneas importantes.

Las *fanerógamas*, contrariamente a las criptógamas, son plantas cuyos órganos reproductores son perfectamente visibles, es decir, que tienen flores aparentes. Reciben también el nombre de *espermafitas*. Antes se creía que estos vegetales eran opuestos a las criptógamas, basándose en el hecho de tener o carecer de flores, pero, posteriormente, se ha podido comprobar que dichos órganos se derivan de toda una serie de formas intermedias y que ellos solos no bastan para caracterizar a las fanerógamas.

En los vegetales es mucho más importante la posesión de semillas, es decir, órganos que en un momento dado se desprenden y que contienen un embrión y reservas nutritivas. Este estado embrionario es muy característico de las espermafitas y no aparece en los demás tipos del reino vegetal. Se puede afirmar así que las fanerógamas son plantas con semillas y, accesoriamente, con flores, cuya reproducción comprende una alternancia esporogametofítica, con predominio del esporofito. El aparato vegetativo se compone de raíz, tallo y hojas.

Las espermafitas se agrupan en dos grandes subdivisiones : *gimnospermas*, en las que las semillas se hallan encerradas en un fruto, y *angiospermas*, en el caso contrario. Ambas se dividen, a su vez, en otras clases como puede observarse en el siguiente cuadro :

Fanerógamas o espermafitas

SUBDIVISIÓN	CLASE	SUBCLASE	ORDEN	FAMILIA	EJEMPLOS DE ESPECIES
gimnospermas	coníferas		pinales	pináceas	pino, abeto, alerce, araucaria
				cupresáceas	ciprés, enebro
angiospermas	dicotiledóneas	apétalas o monoclamídeas	fagales		roble, abedul, aliso, avellano
		dialipétalas	leguminosas		guisante, soja, lenteja
		gamopétalas	personadas	solanáceas	patata, tomate, tabaco
	monocotiledóneas		glumifloras	gramíneas	trigo, maíz, arroz, cebada

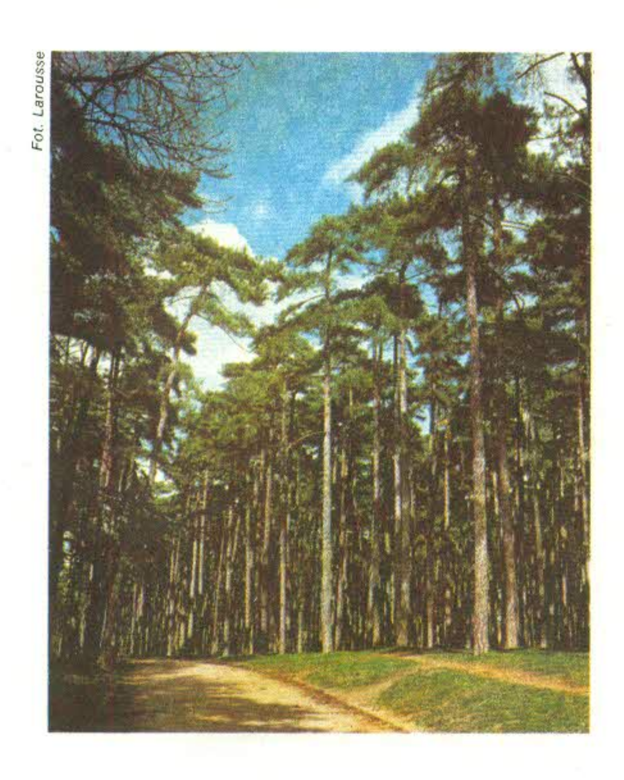
GIMNOSPERMAS

Las *gimnospermas* tienen las semillas colocadas entre unas especies de hojas coriáceas e imbricadas, tales como las de las piñas de los pinos, y se reproducen de modo semejante al de las pteridofitas ya que carecen de verdaderos frutos. El aparato vegetativo presenta ciertas diferencias con el de las angiospermas. El tallo tiene sólo una célula inicial tetraédrica, mientras que la raíz posee tres; los vasos son areolados o envueltos en hilos de apretadas espirales, aunque algunos, como en las *cicas*, resultan similares al tipo de las pteridofitas; y las hojas, con nervadura rudimentaria, se reducen a veces a agujas coriáceas (pino, abeto). Estas plantas tienen además formaciones secundarias y canales secretores, productores de trementina. Las gimnospermas abundaron en el Paleozoico o en el Mesozoico, cuando todavía no existían las angiospermas, y pueden considerarse como una transición entre éstas y las pteridofitas.

División. — En el siguiente esquema se resumen los órdenes en que se dividen las gimnospermas :

ORDEN	ESPECIE
cicadales	cica *(Cycas revoluta)*
ginkgoales	ginkgo *(Ginkgo biloba)*
gnetales	efedra *(Ephedra officinalis)*
pinales (Cl. coníferas)	pino silvestre *(Pinus silvestris)*

Pino silvestre. — El pino silvestre *(Pinus silvestris, Cl. Coníferas, O. Pinales, F. Pináceas)* es un árbol resinoso de unos 30 metros de altura, copa cónica y densa, hojas cortas, gruesas y rígidas, y corteza de color rojizo. Está muy extendido desde los Alpes hasta Escandinavia y, por el Este europeo, llega hasta Siberia. Abunda también en la Península Ibérica, particularmente en la región del Nordeste. Suele agruparse en bosques, por zonas que van desde los 1 200 hasta los 1 600 metros de altitud y, generalmente, en las soleadas vertientes occidentales. Crece en suelos calcáreos o silíceos y resiste fácilmente las heladas, aunque no la humedad excesiva. La raíz es inicialmente pivotante, pero luego se ramifica. El tallo consiste en un tronco cilíndrico. Las hojas, con una epidermis cutinizada, gruesa y resistente, tienen forma de aguja y están reunidas en grupo de dos. Los conos masculinos del aparato reproductor están dispuestos en amentos. Los sacos polínicos se abren longitudinalmente para que puedan difundirse los granos, compuestos de tres o cuatro núcleos. El óvulo presenta un tegumento, un *micrópilo*, canalillo por donde penetra el polen, y una *nucela* que contiene los *arquegonios*. Cada cigoto, después de producirse la fecundación, origina cuatro embriones. La semilla consta de tegumentos (externo e interno) y de *endosperma*, donde se aloja el embrión, constituido éste por los ápices de la raíz y tallo y por los cotiledones. Las piñas, durante la época de la polinización, tienen la punta orientada hacia arriba y las escamas entreabiertas para permitir así la fecundación de los primordios seminales (conjuntos celulares embrionarios). Luego las escamas se cierran y los



Bosque de pinos silvestres o albares, árboles de copa conica y densa, corteza de color rojizo y hojas cortas.

primordios se rodean de una fuerte cubierta (piñones), que, cuando se ha formado totalmente, hace que la piña se abra de nuevo y que los piñones salgan al exterior. La madera del pino y la resina que se extrae del mismo son muy útiles.

Otras coníferas. — La clase de las *coníferas* se halla prácticamente extendida por el mundo entero, ya que se adapta muy bien a los climas templados y fríos. Las especies tropicales crecen en las altas montañas. De la familia de las pináceas, cuyo prototipo se acaba de describir, se pueden mencionar el pino carrasco *(Pinus halepensis)*, el pino piñonero *(Pinus pinea)*, el pino rodeno *(Pinus pinaster)*, el pino negral *(Pinus clussiana)*, el pino negro *(Pinus mugo)* y el pino canario *(Pinus canariensis)*, todos ellos muy conocidos en la Península Ibérica y el último especialmente en el archipiélago de las Canarias. Entre los principales pinos americanos se encuentran el pino de Monterrey *(Pinus radiata)*, de cuya madera se obtiene excelente pasta de papel, el pino amarillo de México *(Pinus cembroides)*, el pino ayacahuite *(Pinus ayacahuite)*, el pino de Sierra Maestra en Cuba *(Pinus cubensis)* y otras muchas especies difundidas por todo el continente.

En la familia de las cupresáceas, de gran polimorfismo, figuran el enebro *(Juniperus communis)* y el ciprés *(Cupressus sempervirens)*.

Filogenia de las coníferas. — No se conoce a ciencia cierta el origen de las coníferas. Se han encontrado fósiles del Triásico, pero se supone que estos árboles ya existían en el Paleozoico (Carbonífero) y se extendieron a partir de entonces, sobre todo en el Cretácico, para disminuir posteriormente en importancia. En la actualidad constituyen, no obstante, la clase más numerosa en el grupo de las gimnospermas.

ANGIOSPERMAS

Las *angiospermas* tienen óvulos dentro de ovarios cerrados y semillas en el interior de frutos. Poseen auténticas flores, generalmente de vivos colores, y un aparato vegetativo con caracteres de planta superior, tales como tres células iniciales, situadas en el tallo y en la raíz, formaciones secundarias, etc. Algunas son leñosas y otras herbáceas. La flor es una espiga esporífera con una parte estéril (sépalos y pétalos), de función protectora, y otra fértil, localizada en los estambres y carpelos. Los estambres contienen unos sacos polínicos o *microsporangios*, y los carpelos encierran los óvulos; de los primeros surgen los protalos masculinos o granos de polen, y los segundos se convierten en protalo femenino o saco embrionario. Éste, provisto de la *oosfera*, carece de arquegonios o corpúsculos. Los granos de polen penetran por el tubo polínico y los gametos masculinos alcanzan así el saco embrionario, donde germinan. Se produce una doble fecundación : la oosfera fecundada da un embrión y la célula central se transforma en albumen, reserva nutritiva para el primero. El óvulo, finalmente, se convierte en semilla, que queda encerrada en el fruto. Las diferencias entre gimnospermas y angiospermas se pueden apreciar en el siguiente cuadro comparativo :

GIMNOSPERMAS	ANGIOSPERMAS
Óvulo desnudo	Óvulo en ovario cerrado
Saco embrionario con células nutricias (endospermo)	Saco embrionario sin endospermo
Arquegonio con oosfera terminada en roseta o pequeño cuello	Arquegonio reducido a una sola célula
Grano de polen pluricelular, con una célula generadora	Grano de polen unicelular, con dos núcleos, uno de ellos generador
Fecundación simple de la que surge el embrión	Fecundación doble de la que surgen el embrión y el albumen
Semilla desnuda	Semilla dentro de un fruto

Las angiospermas se dividen en *dicotiledóneas* y *monocotiledóneas*.

Dicotiledóneas

Las *dicotiledóneas* constituyen una clase de angiospermas cuyos embriones poseen dos cotiledones. Las flores de estas plantas suelen ser pentámeras. La raíz y el tallo presentan, al darles un corte transversal, un círculo de haces liberoleñosos. Las hojas tienen nerviación ramificada y una clara diferenciación del limbo en las caras superior e inferior. La vaina es de tamaño bastante reducido.

Se conocen unas 85 000 especies de dicotiledóneas, repartidas exactamente en 6 700 géneros y en unas 200 familias. Constituyen, por consiguiente, una clase con muchas más variedades que las monocotiledóneas, cuyo estudio se verificará más adelante.

Desde el punto de vista sistemático, parece normal tratar en primer lugar las dicotiledóneas, puesto que de ellas derivan las monocotiledóneas. No obstante, esto es todavía objeto de polémicas entre los naturalistas.

División. — Según la disposición del periantio, las dicotiledóneas se dividen en tres subclases : *apétalas* o *monoclamídeas*, cuyas flores carecen de periantio (corola y cáliz), *dialipétalas*, que tienen los pétalos separados y agrupados en un orden de simetría, y *gamopétalas*, con los pétalos unidos y el periantio generalmente doble. Para tener una visión de conjunto de este numeroso grupo, a continuación se traza un esquema de las dicotiledóneas, con las familias más importantes de cada una de las subclases. Se señalan también algunos de los géneros o especies más conocidos, pero naturalmente esta lista dista mucho de ser exhaustiva.

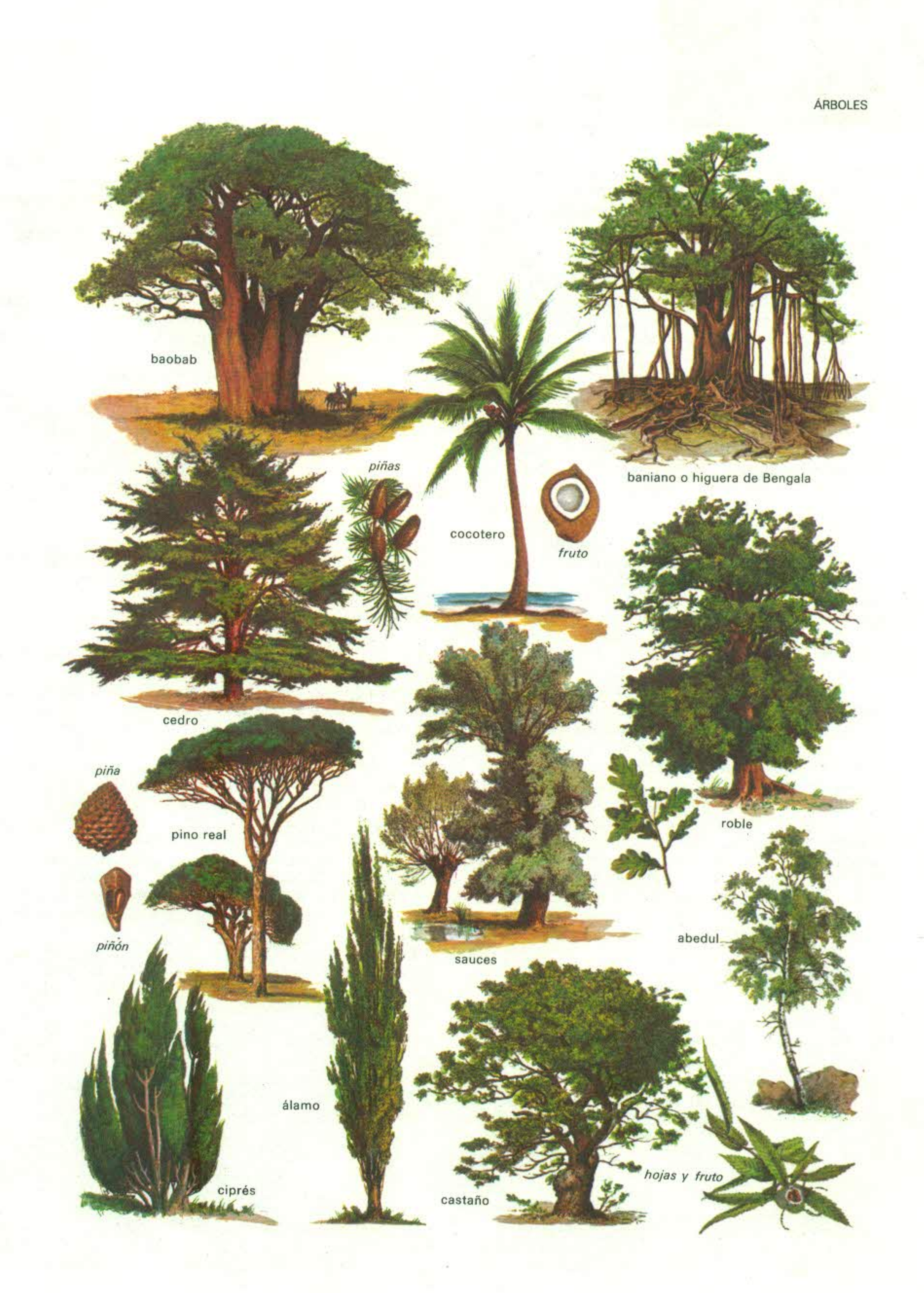
totalmente el fruto *(bellota)*. El roble es árbol de gran utilidad. Su madera, de muy buena calidad, se emplea en ebanistería, construcción y fabricación de duelas, la corteza y el fruto proporcionan taninos, usados en la industria del curtido de pieles, y la bellota constituye un alimento fundamental para el ganado porcino.

Especies diversas. — Entre las especies más comunes en la Península Ibérica hay que mencionar el roble carrasqueño o quejigo *(Quercus faginea)*, que puede alcanzar 15 metros de altura y crece en los suelos calcáreos de clima continental; el roble africano *(Quercus canariensis)*, de menor altura que el anterior, propio de los suelos silíceos de las costas mediterráneas meridionales; el roble negral *(Quercus pyrenaica)*, de copa poco densa, muy abundante en el norte de España; y muchos otros como el carvallo, el roble albar y el roble pubescente. Originarios de América son el roble americano *(Quercus rubra)*, de bellas hojas que adquieren un tono rojizo al llegar el otoño y cuya madera es insustituible para la fabricación de toneles donde se hacen envejecer vinos y aguardientes. Esta especie, procedente de la costa atlántica de Estados Unidos, ha sido introducida con éxito en la Península Ibérica. Otras especies americanas son el roble escarlata *(Quercus coccinea)*, que puede alcanzar más de 40 metros de altura y tener un tronco de dos metros de diámetro, el roble de los pantanos *(Quercus palustris)*, árbol ornamental, el *Quercus alba*, etcétera.

Dicotiledóneas

SUBCLASE	FAMILIAS	EJEMPLOS DE GÉNEROS O ESPECIES
apétalas o monoclamídeas	cupulíferas	roble, haya, castaño, encina, alcornoque, avellano
	urticáceas	ortiga, higuera, morera, olmo, cáñamo indiano
	platanáceas	plátano (árbol de sombra)
	salicáceas	sauce, álamo, chopo
	poligonáceas	acedera, alforfón
	quenopodiáceas	espinaca, remolacha, té de México
dialipétalas	papilionáceas	guisante, lenteja, haba, judía, algarrobo, copal, cacahuete
	ranunculáceas	ranúnculo, peonia, acónito
	lauráceas	laurel, aguacate, canela
	malváceas	malvavisco, malva, tilo, cacao, baobab
	euforbiáceas	euforbio, ricino, hevea, yuca
	crucíferas	alelí, col, nabo, colza, mostaza, berro
	papaveráceas	amapola, adormidera
	cariofiláceas	clavel, saponaria
	rutáceas	ruda, jaborandi, naranjo, limonero
	rosáceas	rosal, zarzamora, fresa, manzano, peral, almendro, cerezo
	umbelíferas	zanahoria, perejil, apio, hinojo, cicuta
	cactáceas	nopal o chumbera, cirio
	mirtáceas	eucalipto, clavo
gamopétalas	solanáceas	patata, tomate, tabaco, pimiento, belladona
	ericáceas	madroño, arándano, brezo
	escrofulariáceas	verónica, digital, linaria, conejitos
	labiadas	menta, salvia, romero, tomillo, poleo, melisa, orégano
	verbenáceas	verbena
	oleáceas	olivo, fresno, jazmín real
	campanuláceas	campánula, lobelia
	rubiáceas	quina, cafeto, ipecacuana
	valerianáceas	valeriana
	compuestas	cardo, alcachofa, lechuga, dalia, margarita, girasol
	cucurbitáceas	pepino, calabaza, melón, sandía

Roble. — El roble *(Cl. Dicotiledóneas, SCl. Apétalas, F. Cupulíferas o Fagáceas, G. Quercus)* es un árbol robusto, de copa ancha y con una vida que puede prolongarse durante varios siglos. Las hojas generalmente amarillean en otoño y se desprenden casi siempre, aunque en algunas especies no llegan a caer. La raíz está muy ramificada, lo mismo que el tallo, cuya forma es casi cilíndrica. Las hojas son lobuladas y caducifolias. Este árbol se encuentra muy difundido en la Península Ibérica (donde se conocen siete especies que frecuentemente se hibridan entre sí), en África y en América. Las flores son unisexuales. Las masculinas, agrupadas en *amentos*, tienen un número de estambres que oscila entre 4 y 14, mientras que las femeninas, generalmente aisladas, están dentro de un *involucro*. Las últimas presentan brácteas y folíolos, algunos de éstos soldados a una *cúpula*, que, con una superficie rugosa, no recubre


baobab
baniano o higuera de Bengala
piñas
cocotero
fruto
cedro
roble
piña
pino real
piñón
sauces
abedul
álamo
ciprés
castaño
hojas y fruto



Guisantes en el interior de la vaina.

Guisante. — Los guisantes *(Cl. Dicotiledóneas, SCl. Dialipétalas, F. Papilionáceas o Leguminosas)* son plantas trepadoras que se fijan al soporte gracias a numerosos zarcillos. Son de cultivo frecuente en huertas, puesto que constituyen un alimento muy corriente, y la industria conservera hace gran uso de los mismos. Existen centenares de variedades, unos de semilla lisa y otros de semilla rugosa. La raíz es muy ramificada, el tallo herbáceo y algo rastrero y las hojas alternas y con folíolos. La flor tiene color generalmente blanco y un cáliz formado por una serie de dientes ovales, tubo estaminal truncado transversalmente, estigmas con superficie rugosa o vellosa y vaina, en cuyo interior se encuentran las semillas lisas.

Patata. — La patata o papa *(Solanum tuberosum, Cl. Dicotiledóneas, SCl. Gamopétalas, F. Solanáceas)* es una planta herbácea de unos 50 centímetros de altura, con tubérculos comestibles, que se presenta en gran número de variedades (industriales, forrajeras y de consumo humano). Es originaria del continente americano, ya que crecía espontáneamente en las regiones andinas, de donde pasó a México y a Virginia. Se introdujo en Europa en la segunda mitad del siglo XVI y se fue imponiendo como alimento popular. Su consumo, en el siglo XIX, llegó a ocupar el segundo puesto en importancia, tras los cereales. Las raíces de la patata son largas, delgadas y pivotantes; los tallos aéreos son herbáceos, mientras que los subterráneos son los ya mencionados tubérculos, cargados de fécula y agua, que en ningún modo hay que confundir con las raíces; las hojas son compuestas, alternas y de forma lanceolada. La reproducción se efectúa por las flores, pentámeras y con cáliz gamosépalo y corola gamopétala. El androceo consta de cinco estambres y el gineceo contiene dos carpelos. El fruto se encuentra encerrado en una baya y, normalmente, no llega a madurar. Esta planta puede multiplicarse por semillas, pero generalmente lo hace por tubérculos que se cultivan en terrenos húmedos y bien labrados. La recolección se inicia cuando las partes aéreas del tallo comienzan a marchitarse y para ello se utiliza el azadón, el arado o la arrancadora mecánica.

Monocotiledóneas

Dentro de la clase de las *monocotiledóneas* se agrupan las angiospermas cuyas semillas tienen un solo cotiledón. Las raíces de estas plantas son generalmente fasciculadas y subterrráneas (bulbos y rizomas). Los tallos son aéreos, en forma de estipe, no ramificados, envainados por la hojas y desprovistos de formaciones secundarias. Las hojas son paralelinervias, orientadas verticalmente. Las flores presentan un periantio, en el que no se diferencian el cáliz y la corola.

División. — Existen unas 20 000 especies de plantas monocotiledóneas, repartidas entre 1 600 géneros y 26 familias, de las cuales sólo se estudiarán las *gramíneas* por ser de gran interés nutritivo. En el siguiente cuadro se reúnen las principales familias de este grupo, junto con algunos géneros y especies más importantes.

FAMILIAS	EJEMPLOS DE GÉNEROS o ESPECIES
gramíneas	trigo, cebada, avena, centeno, mijo, maíz, bambú, caña de azúcar
ciperáceas	juncia
palmáceas	palmera, cocotero
liliáceas	azucena, ajo, cebolla, tulipán, jacinto
iridáceas	iris, gladíolo, azafrán
amarilidáceas	nardo, narciso, pita o maguey
orquidáceas	orquídea, vainilla
bromeliáceas	piña de América, bromelia

Trigo. — El trigo *(Cl. Monocotiledóneas, F. Gramíneas, G. Triticum)* es una planta herbácea, con una altura entre 0,60 y 1,50 metros, perteneciente a diversas especies del género *Triticum*, entre las que se destaca el *Triticum aestivum* o *vulgare*, que crece en Europa. Se conocen varios centenares de variedades, producidas por cruzamientos selectivos, y se cultiva en casi todas las regiones de la Tierra. Tiene una raíz fasciculada, un tallo hueco, en forma de caña y poco ramificado, y hojas largas, rectinervias y paralelinervias. La flor es una espiga compuesta, trímera. La semilla posee un embrión de un solo cotiledón y el fruto es seco, del tipo cariópside o con un aquenio cuya semilla está soldada al pericarpo. La composición de la semilla es rica en almidón, lo que explica la importancia de esta gramínea en la alimentación y, por lo tanto, en la economía mundial. De esta planta se saca, por molturación, la harina, alimento básico del hombre desde los tiempos prehistóricos. El trigo ya era conocido en la época de las primeras civilizaciones mesopotámicas y de Egipto, y se cree llegó a la Península Ibérica en el IV milenio a. de J. C. A lo largo de los siglos se han ido perfeccionando los métodos de cultivo y ha aumentado la productividad, al mismo tiempo que las zonas trigueras de los nuevos continentes (Estados Unidos, Canadá, Argentina y Australia) han alcanzado un desarrollo extraordinario.

Se siembra a una profundidad de 2,5 a 5 centímetros y en una cantidad que oscila de 80 a 150 kg por hectárea, según las tierras y las variedades de semilla. A las tradicionales formas de siega y trilla, han sucedido los modernos procedimientos con máquinas cosechadoras que efectúan ambas labores, quedando el grano en condiciones de ser envasado y utilizado. Los rendimientos son también muy diferentes, según las zonas, pudiendo considerarse como elevado el que llega a los 60 quintales por hectárea.

El trigo, a veces, puede sufrir enfermedades durante su vida vegetativa (virus, bacterias, hongos y nematodos) o posteriormente, cuando el grano se encuentra en el almacén a merced de los mohos.

Otras gramíneas importantes. — Las gramíneas constituyen probablemente la mayor familia dentro de las fanerógamas. Teniendo en cuenta los usos que de ellas se hacen, se dividen en *cereales*, productores de granos alimenticios como el trigo, ya estudiado, centeno, cebada, avena, arroz y maíz, todos de gran importancia en la alimentación y economía mundiales, *gramíneas forrajeras*, que forman prados naturales o artificiales (bromo, grama de olor, poa, etc.), que desempeñan un papel muy importante para sustentar al ganado, y *gramíneas industriales*, como el esparto, cuyas hojas se emplean para hacer cuerdas, sogas, esteras, pasta de papel y suelas para el calzado, el bambú, de numerosos y diversos usos, la caña de azúcar, de la que se extrae una sustancia de sabor dulce, el sorgo y la zahína.


Ecología

Ecología

Conceptos básicos : Biocenosis y biotopo. Equilibrio biocenótico. — **Biogeografía.** Factores ecológicos : Factores climáticos : Los climas. Temperatura y humedad. La luz. — Factores edáficos : Factores hídricos e iónicos. Factores físicos. Factores químicos. Formación y evolución del suelo. — Factores bióticos : Reacciones homotípicas. Reacciones heterotípicas. Cadenas alimentarias. Acción del hombre. — Factores geográficos e históricos : El viento. El relieve. Circunstancias geológicas e históricas. — Zoogeografía. Fauna terrestre : Terrícolas. Cavernícolas e hipogeos. Aerícolas y arborícolas. Acuícolas y limícolas. — Fauna acuática : Fauna marina. Fauna dulceacuícola. — Fitogeografía. Vegetación terrestre : Pradera. Matorral. Bosque. Desierto. Adaptación de las plantas. — Vegetación acuática : Formaciones marinas. Formaciones dulceacuícolas. — **Individuos y comunidades.** Asociaciones : Asociaciones intraespecíficas : Asociación familiar. Asociación gregaria. Asociación colonial. Asociación estatal. — Asociaciones interespecíficas : Inquilinismo. Comensalismo. Simbiosis y mutualismo. Parasitismo. — Comunidades : Características de una comunidad. Nicho ecológico. Clases de comunidades. — **Ecosistemas.** Componentes y estructura del ecosistema : Componentes bióticos. Componentes abióticos. Estructura del ecosistema. — Dinámica del ecosistema : Flujo de energía. Cadena alimentaria. Ciclo del agua. Ciclo de los elementos. Sucesión y productividad. — **Hombre y ambiente.** Destrucción de la Naturaleza : Recursos y población. Destrucción de los bosques. Caza y pesca abusivas. Obras públicas gigantescas. — La contaminación : Contaminación atmosférica. Contaminación de las aguas continentales. Contaminación marina. Contaminación radiactiva. El ruido. — Protección de la Naturaleza : Defensa de la caza. Protección del medio. — A modo de conclusión.

Palabra derivada del griego *oikos* (casa) y *logos* (tratado) y empleada por primera vez por el biólogo alemán Ernst HAECKEL (1834-1919), la *Ecología* es una subdivisión de la Biología que estudia las relaciones de dependencia y las interacciones que se producen entre los seres vivos y el medio ambiente. No puede considerarse como una nueva disciplina, sino como un enfoque diferente de la Biología en el que, tras haberse descrito exhaustivamente todas las particularidades de plantas y animales, se analiza la correlación entre la estructura de un órgano y la función que éste ejerce.

Los trabajos de laboratorio y la ayuda de otras ciencias, como las Matemáticas, han contribuido eficazmente al desarrollo de esta especialidad cuya importancia es cada vez mayor, dado que el hombre, consciente del daño que sufre tanto la Naturaleza como el ambiente, quiere evitar el deterioro progresivo de ambos que conduciría a la extinción de la vida en la Tierra. El estudio conjunto de los mundos vegetal y animal, y el de sus respectivos entornos, revela que cada uno de los elementos depende de los otros e influye directa o indirectamente en los demás.

CONCEPTOS BÁSICOS

Biocenosis y biotopo. — La *biocenosis* es el conjunto de organismos vivos que habitan en un determinado lugar de manera permanente y que se hallan ligados entre sí por relaciones de interdependencia. El territorio donde se localiza recibe el nombre de *biotopo*, el conjunto formado por éste y la biocenosis constituye un *ecosistema* y la suma de todos éstos se denomina *biosfera*.

Un ejemplo aclarará los anteriores conceptos. Una serie de montes y valles es el biotopo donde viven diferentes especies vegetales y animales, éstas constituyen la biocenosis y la región en la que ambos se albergan es el ecosistema.

La acción del tiempo y los seres vivos que componen una biocenosis acaban por modificar el medio físico del biotopo y llegan a afectar a la población originando a veces que ésta se traslade a otro sitio. Los límites de una biocenosis no están siempre muy determinados y la frontera entre dos comunidades vecinas está trazada a menudo de un modo bastante impreciso, con zonas de transición que se distinguen por tener una fauna y flora muy ricas.

Existen biocenosis autónomas, que se bastan a sí mismas, y otras que necesitan ciertos aportes del exterior. Las primeras se desarrollan en biotopos cerrados, sin contacto alguno con los vecinos, mientras que las segundas se hallan en biotopos abiertos, comunicados con otras zonas biológicas de las que obtienen ciertos beneficios.

Equilibrio biocenótico. — Las interacciones entre los miembros de una biocenosis y las que éstos mantienen con el medio ambiente producen el llamado *equilibrio biocenótico*.

Cualquier modificación en la composición de la biocenosis puede romper este equilibrio, con las consiguientes repercusiones en cadena. Así, cuando, por ejemplo, se decide exterminar alguna especie insectívora en una región, el resultado inmediato es un aumento del número de insectos, lo que trae consigo una mayor destrucción de ciertas especies vegetales normalmente atacadas por ellos. Esto afectará de modo especial a los animales herbívoros, privados de gran parte de sus elementos nutritivos, lo que, a su vez, repercutirá en los carnívoros.

Biogeografía

Uno de los aspectos fundamentales de la *Biogeografía*, o distribución de los seres vivos en la superficie terrestre, es la relación existente entre los organismos y el medio físico que les rodea, como también la adaptación de aquéllos a este entorno.

Los factores ecológicos influyen directamente en cualquier ser vivo, ya sea limitando su territorio, modificando su índice de reproducción o dando lugar a la aparición, dentro de una especie, de variedades muy distintas entre sí.

Factores ecológicos

Los numerosos factores ecológicos, según los especialistas, pueden clasificarse de varias maneras, pero a continuación se estudiarán, por considerarlo más simple, los denominados climáticos, edáficos, bióticos, geográficos e históricos.

FACTORES CLIMÁTICOS

Los climas. — Los datos de temperatura, humedad y evaporación propios de las diversas regiones geográficas, obtenidos a través de las estaciones meteorológicas existentes en un país, se registran en condiciones normalizadas sobre una superficie plana y cubierta de césped, a dos metros del suelo, para que las influencias locales se reduzcan al mínimo.

Los datos suministrados por estos observatorios bastan para determinar la climatología de un país o de una entidad geográfica mayor, como sería la de un continente. No obstante, esta información es insuficiente si se pretende analizar una zona más limitada, como la ladera de una colina o el fondo de un valle. En estos últimos casos ha sido preciso recurrir al concepto de *mesoclima*, o conjunto de las condiciones atmosféricas de una determinada superficie, aislada del medio general.

Las biocenosis, al hallarse implantadas en condiciones muy diferentes de las que puede tener el clima regional e incluso el mesoclima, han hecho necesaria la determinación de las características bioclimáticas de zonas muy reducidas y han conducido al concepto de *microclima*. Se han analizado, por tanto, los datos referentes a varias horas del día, o a períodos de tiempo más extensos (día, semana, mes y año), en distintos biotopos (una pradera, el fondo de un acantilado, la umbría de una peña, una grieta en el terreno, etc.). La recopilación y el estudio de estos elementos permiten determinar las causas de las modificaciones experimentadas por la biocenosis (desarrollo, eclosión, floración) y definir su ecología.

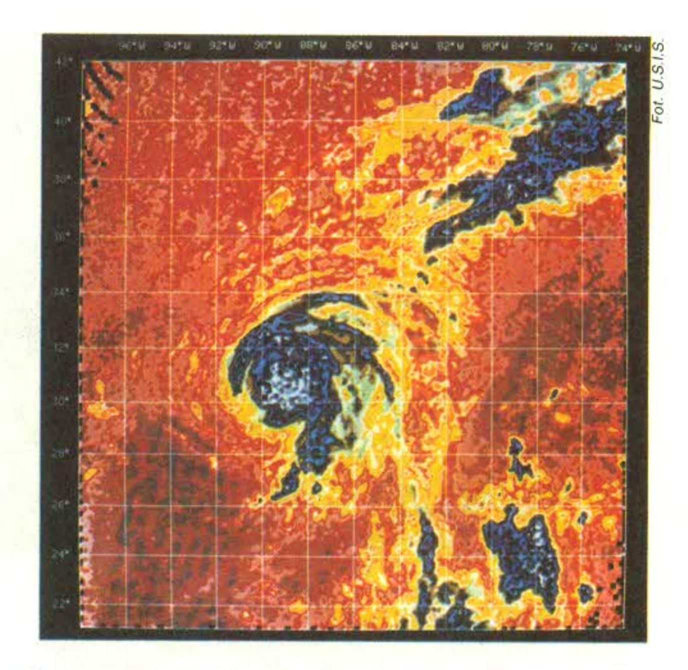

Fot. U.S.I.S.

Foto tomada desde el satélite artificial Nimbus, de las costas del Golfo de México, asoladas por un ciclón.

Temperatura y humedad. — La temperatura y la humedad, tanto las del aire como las del suelo, son los factores más importantes para apreciar el microclima de las biocenosis y se toman a diferentes niveles por debajo y por encima del suelo con el fin de establecer *gradientes* (índices de variación) de una u otra.

La *temperatura* determina el comportamiento característico de algunos animales de zonas desérticas, como los roedores y reptiles, que viven bajo tierra durante las horas calurosas del día para evitar excesivas pérdidas de agua. Análogamente, en regiones frías, otras especies animales entierran parte de su cuerpo en el invierno para defenderse del rigor del tiempo.

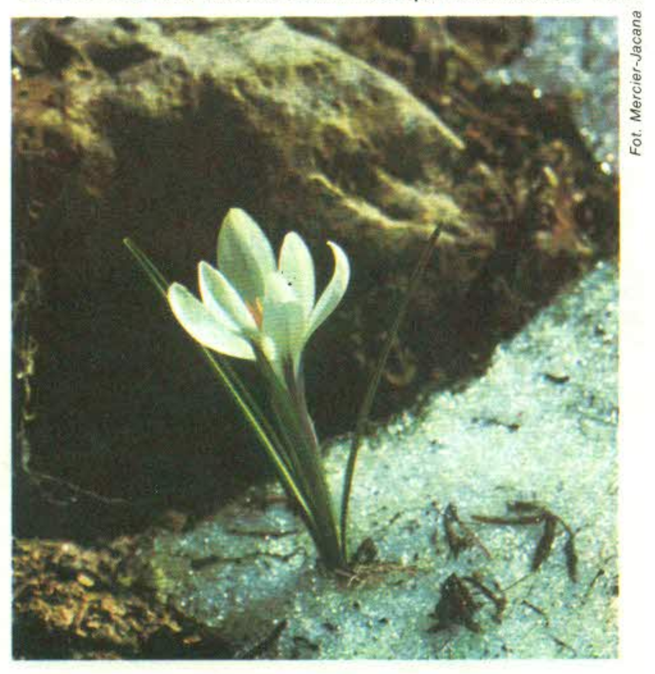
La *humedad* de una estación depende de las precipitaciones, en forma de lluvia, nieve, niebla, rocío, y de la evaporación, condicionada esta última por la temperatura, los vientos, la topografía y algunos factores bióticos (vegetación superficial). Si bien es fácil medir la humedad relativa del aire, resulta más complejo determinar en el suelo la proporción de agua utilizable por las plantas. La absorción de ésta por los vegetales depende de varios factores bióticos, como son la morfología del terreno y la posible competencia entre las raíces de diversas especies o individuos, y hay que tener en cuenta asimismo las pérdidas de este líquido debidas a la transpiración y a la evaporación de los biotopos.

Los biotopos están dotados de condiciones hídricas diferentes, que influyen de modo esencial en las especies que en ellos habitan. Las biocenosis pueden ser *acuáticas*, que viven constantemente en un medio acuoso, *semiacuáticas* o *anfibias*, *hidrófilas*, que se desarrollan en suelos próximos a la saturación, *mesófilas*, a las cuales pertenece la inmensa mayoría de las especies cultivadas, que tienen necesidad de agua en cantidades moderadas, y *xerófilas*, capaces de vivir con poca agua.

La capa de nieve que cubre el suelo en las regiones frías constituye una excelente protección térmica, como puede comprobarse si se trasladan a la llanura algunas especies vegetales propias de la alta montaña. Éstas mueren durante las heladas invernales por carecer del manto que las resguardaba.

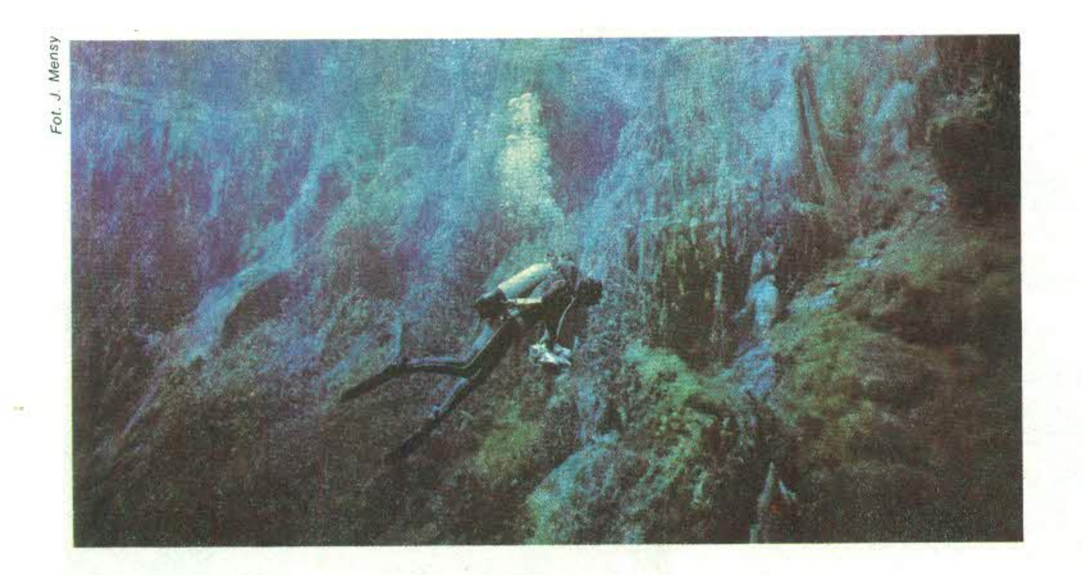
La luz. — La *luz* es, junto a la temperatura, un factor climático importante y la duración, la intensidad y la calidad que tiene ejercen a la vez una influencia considerable en los biotopos.

La duración de la luz solar depende de la latitud geográfica y de la inclinación de la Tierra en relación con la eclíptica. Esto último incide particularmente en la


Fot. Mercier-Jacana

Azafrán de primavera en una montaña cubierta de nieve.

Fot. J. Mensy



La vegetación de los fondos marinos se beneficia de la luz que penetra hasta una profundidad de muchos metros por debajo del agua superficial.

vida de los vegetales, ya que algunos necesitan los largos días de la primavera y del verano para la aparición y evolución de los tallos y hojas, mientras que ciertas flores, como los crisantemos, sólo pueden formarse en días cortos, con pocas horas de luz. Estas características, basadas en el período de insolación, determinan las diferencias fundamentales existentes entre los climas de las regiones polares y ecuatoriales. Hay que señalar, sin embargo, que, en el microclima de las ciudades, la iluminación artificial de parques y jardines tiene el efecto de retrasar la caída de las hojas en algunas especies arbóreas.

La variación de la cantidad de luz recibida produce numerosas modificaciones en la fisiología de las plantas superiores, al mismo tiempo que influye en la distribución de las especies vegetales en la Tierra. Hay plantas de carácter particularmente heliófilo (cedro, alcachofa, melocotonero), mientras que para otras la necesidad de sol es menor (hiedra, helecho, musgo). La existencia de bancos de niebla en las zonas montañosas, al tener la propiedad de atenuar la fuerza de los rayos luminosos y hacer posible la vida de ciertas especies (haya), es muy importante. La intensidad de los rayos solares disminuye cuanto mayor sea la latitud geográfica, debido a que el ángulo de incidencia es más grande, y, en cambio, aumenta con la altitud ya que el espesor de la capa atmosférica es más reducido. Esto último trae consigo la reducción de las partes vegetativas y la mayor pigmentación de las flores.

La calidad de la luz se manifiesta sobre todo en los diferentes estratos de la selva tropical o de las aguas marinas. En éstas, las capas de agua absorben algunas radiaciones lumínicas y, hasta una profundidad de 50 metros, la fotosíntesis se desarrolla todavía de modo casi normal. Pero, entre este nivel y los 500 metros, sólo viven los seres capaces de aprovechar los rayos azules que hasta allí penetran.

FACTORES EDÁFICOS

Factores hídricos e iónicos. — Los *factores hídricos* e *iónicos* ejercen una función primordial en las estaciones acuáticas, y la misma calidad del agua se ve también influida por la temperatura ambiente y por los gases y sales que ésta lleva en disolución, entre los cuales se hallan el oxígeno, el anhídrido carbónico, el hidrógeno sulfurado y el metano. El oxígeno, que procede no sólo de la atmósfera sino también de la actividad fotosintética del fitoplancton (plancton vegetal), es fundamental para la fauna acuática. Así, la trucha, que necesita agua muy oxigenada, se encuentra en parajes muy claros y turbulentos, mientras que la carpa, por ejemplo, puede vivir en aguas con menos aire. El anhídrido carbónico, muy soluble en el agua, proviene de las precipitaciones lluviosas, de la disolución de los carbonatos, de la respiración de los organismos y de la descomposición anaerobia de las sustancias carbónicas. La acción biológica de los vegetales acuáticos origina variaciones en la proporción de este gas, condicionando de este modo la vida de algunos animales.

Entre las sales contenidas en el agua, las más frecuentes son los cloruros, los sulfatos, los carbonatos y, a veces, los nitratos. La función del factor salino es considerable y hace que algunas especies se desarrollen en las aguas marinas y no en las dulces. Existen, no obstante, animales que viven en ambos medios, como el salmón y el esturión, que remontan los ríos para reproducirse. El proceso inverso tiene lugar en la anguila, que desciende al mar para desovar.

Dos fenómenos fisicoquímicos, la acidez y la oxirreducción u oxidorreducción, caracterizan las aguas. El primero se evalúa en unidades pH (de 1 a 14), correspondiendo la acidez a los valores hasta 7 y la alcalinidad a los comprendidos entre 7 y 14. Las aguas y los suelos naturales presentan un pH casi neutro (pH 8) en los terrenos calcáreos y un pH 4 en las turberas (suelos ácidos). El potencial de oxirreducción indica el grado de asfixia de los suelos e influye en la distribución de los microorganismos y de las plantas.

Factores físicos. — En las estaciones terrestres, los *factores físicos*, llamados *textura* y *estructura*, son esenciales. El primero corresponde a la composición de los elementos y el segundo depende de la manera como éstos se agrupan. Según los porcentajes de arena, limo y coloides, las texturas de los terrenos son arcillosas, equilibradas, limosas o arenosas. La distribución de los organismos subterráneos se halla en gran medida condicionada por las características de los terrenos, y, así, los gusanos abundan en los limos y arcillas arenosas, ciertos gusanos marinos (arenícolas) viven en las arenas, algunas plantas prefieren suelos arenosos *(Carex arenaria, Erodium cicutarium)*, mientras que otras especies se desarrollan en suelos más pesados *(Lychnis floscuculi)*.

La estructura y la textura influyen en la aeración de los suelos y, por consiguiente, en el grado de saturación. Los suelos finos retienen mejor el agua que los arenosos y, con la misma pluviosidad, constituyen estaciones más húmedas. Los terrenos bien estructurados facilitan la respiración de las raíces al tomar normalmente éstas el oxígeno a través de los poros del suelo. Si la estructura es defectuosa, se produce la asfixia de la planta, sobre todo en los períodos de humedad excesiva. Entre las especies que mejor resisten esta carencia hay que citar el álamo y el fresno, mientras que la picea o abeto del Norte es muy frágil.

Factores químicos. — Los *factores químicos* son asimismo esenciales, no sólo en lo que se refiere a la génesis de los suelos, sino también a causa del contenido de éstos en calcio, sales y materias orgánicas.

El calcio se halla presente especialmente en forma de caliza e interviene en la distribución de las especies vegetales, ya que unas lo necesitan para desarrollarse y otras son incompatibles con él.

La escasez de potasio, elemento muy activo en el metabolismo de las plantas, hace disminuir las reservas de hidratos de carbono y provoca un retraso en la maduración de los frutos. El magnesio entra en la composición de la molécula de clorofila y su carencia es causa de clorosis.

Otros elementos, como el hierro, el manganeso, el cinc, el cobalto, el boro, el molibdeno, el cloro y, quizá, el cobre, son también necesarios para la vida vegetal y actúan en cantidades muy pequeñas durante el crecimiento. Algunos terrenos situados cerca del litoral, o en regiones más o menos secas, poseen elevadas proporciones de sales, principalmente cloruros, carbonatos y, a veces, sulfatos. Los suelos salinos tienen una presión osmótica muy alta que impide la absorción normal del agua, y los alcalinos son aún más estériles que los anteriores, ya que el ion sodio se opone a la absorción de otros iones, con lo que se dificulta la formación de reservas de agua suficientes para el verano.

Formación y evolución del suelo. — El suelo es el resultado de un largo proceso bioquímico en las rocas. Cuando una de éstas queda expuesta a los agentes atmosféricos, se produce en primer lugar una fragmentación mecánica, a causa de un cambio brusco de temperatura o por la acción del hielo, de los derrubios, etc., y estos fragmentos se transforman luego en arcillas que retienen agua rica en sales minerales.

Los ácidos producidos por la descomposición de los restos vegetales, junto a la vida bacteriológica de la primitiva vegetación, son los agentes de la rápida alteración química del suelo y de la formación de un manto cuyas características físicas y químicas están principalmente en función del clima y de la vegetación. Este manto, cuyo espesor oscila entre varios centímetros y unos diez metros, tiene cierta vida propia y depende cada vez menos de la roca madre.

Esta evolución señala la diferencia entre los *suelos jóvenes*, que participan todavía de la naturaleza de la roca madre, y los *suelos maduros*, más transformados, independientes ya de dicha roca y en equilibrio con el clima y tipo de vegetación. Este proceso evolutivo no obedece sólo al factor tiempo, ya que los suelos, en las regiones frías, áridas o con relieve muy accidentado, no llegan a superar la fase juvenil.

La génesis de un suelo se debe fundamentalmente a la descomposición de la roca, a la acumulación de materia orgánica y a la migración de elementos transportados por el agua. Estos factores se hallan a su vez relacionados con la temperatura y la humedad, elementos esenciales del clima, por lo que cabe afirmar que éste es realmente el agente regulador de la formación y evolución de los suelos.

FACTORES BIÓTICOS

Reacciones homotípicas. — Entre los seres vivos se produce una serie de reacciones, que se llaman *homotípicas*, cuando tienen lugar entre individuos de una misma especie, y *heterotípicas*, en el caso contrario.

Hay que citar entre las primeras el denominado *efecto de grupo*, que se observa en el caso de animales que sólo pueden subsistir si un mínimo de individuos de la misma especie viven juntos. Esta cantidad se estima que ha de ser de 30 a 40 para los elefantes, de 300 a 400 para los renos y superior a 10 000 para los cormoranes del Perú.

El *efecto de masa*, por el contrario, se da en una población demasiado numerosa en relación con el territorio en que vive o con las reservas alimenticias de que dispone. Así, por ejemplo, los árboles, en un bosque muy espeso, son finos y alargados para captar mejor la luz solar, mientras que otros ejemplares de la misma especie, que crecen aisladamente en un terreno, suelen tener un aspecto más copudo y presentar frondosas ramificaciones en la parte inferior. Algo semejante ocurre con los órganos subterráneos, en los que la competencia surge a causa del agua indispensable para la vida de las plantas. Esto explica que los árboles en las regiones semidesérticas se hallen muy diseminados, ya que los sistemas radiculares de cada uno de ellos necesitan mucha tierra para poder absorber la cantidad de agua que les es imprescindible.

Reacciones heterotípicas. — La competencia existe también entre individuos de especies diferentes, como ocurre con algunas plantas herbáceas del género *Spartina*, que, en el litoral británico del Canal de la Mancha, están desapareciendo y son sustituidas por otras especies más vigorosas.

La coexistencia entre algunas especies es posible gracias a la periodicidad de determinados fenómenos estacionales. Las anémonas y las ficarias, por ejemplo, florecen al iniciarse la primavera, momento en el que los árboles de su entorno no se han cubierto todavía de hojas. La vida en común de otras especies se ve favorecida por la morfología de las mismas, como puede observarse en el escalonamiento en profundidad de las raíces, que permite aprovechar el agua y las sales minerales en disolución a diferentes niveles del suelo.



Fot. Dragesco-Atlas-Photo

Árbol poblado por miembros de una colonia de cormoranes.

Fot. Tereafs-Jacana



Los conejos, lo mismo que otros animales, alteran a veces profundamente el equilibrio natural de los ecosistemas.

La eliminación de unas especies por otras se debe con frecuencia a la incompatibilidad química que existe entre ellas. Ciertas secreciones de carácter tóxico, lo mismo en las partes aéreas que en las radiculares de la planta, impiden la vida de otras especies en las proximidades. Éste es el caso del nogal americano, cuyo tapiz vegetal es muy escaso debido a que las sustancias presentes en la superficie de sus hojas llegan al suelo disueltas en el agua de lluvia. Estas secreciones vegetales afectan también a los animales, como ocurre con los peces, que sufren intoxicaciones, sobre todo en verano, a causa del gran aumento de cianofíceas en estanques y pantanos, y como sucede incluso con el ganado.

Cadenas alimentarias. — La interacción entre animales y plantas es muy importante y, para demostrarlo, basta considerar las relaciones entre los *productores* (vegetales verdes) y los *consumidores primarios* (herbívoros). Estos últimos son también productores para los *consumidores secundarios* (carnívoros), que desaparecerán de modo natural o serán víctimas de los *consumidores terciarios* (otros carnívoros). Hay de este modo entre los diferentes participantes de la cadena cierta pérdida en el flujo de energía, que queda compensada, sin embargo, por la radiación solar captada por las plantas verdes.

El equilibrio natural dentro del ecosistema, que permite la pervivencia de éste, se ve perturbado algunas veces, como fue el caso originado con la cría de conejos en Australia. Estos animales rompieron el equilibrio natural al ser consumidores primarios y destructores en muy poco tiempo del revestimiento vegetal (productor).

Las relaciones entre animales y plantas, incluso entre individuos del mismo reino, adoptan a veces la forma de parasitismo, que, cuando se produce de un modo desequilibrado, provoca catástrofes de consecuencias graves. La destrucción total de grandes zonas de viñedos a causa de la filoxera es el ejemplo más elocuente.

Acción del hombre. — Existe un último factor biótico que hay que tener en cuenta : *el hombre*. Éste, como todo ser vivo, es un elemento de la biosfera, y el incremento constante de la población trae consigo un desequilibrio capaz de afectar a los ecosistemas. Al ser este aumento mayor que el de los recursos naturales, el ser humano se ha visto obligado a llevar a cabo una explotación de éstos cada vez más intensa, con riesgos evidentes para el futuro de nuestro planeta. Los científicos han comprendido este peligro, y la Ecología surgió precisamente para hacer frente a este problema.

El aprovechamiento irracional de los recursos naturales de la Tierra ha sido constante desde los tiempos antiguos. Se han encontrado huellas de la acción devastadora del hombre que se remontan al Neolítico, pero la escasa densidad de población en esa lejana época hacía posible, por ejemplo, la reconstitución natural de los bosques destruidos. La roturación de tierras se intensificó de modo particular a lo largo del primer milenio de nuestra Era, al final del cual un 75% de las primitivas zonas boscosas había desaparecido. Desde entonces no ha variado mucho la superficie forestal, pero la composición de los bosques se ha alterado de modo notable.

Paralelamente a esta destrucción, el reino animal ha sufrido también importantes modificaciones. Algunos grandes mamíferos se vieron obligados a vivir en territorios cada vez más reducidos e incluso llegaron a desaparecer (auroch, bisonte, ciertos osos, etc.).

La desecación artificial de numerosas zonas pantanosas ha hecho variar la proporción de agua en las capas freáticas, que son las que alimentan las fuentes, y esto incide de manera especial en los biotopos.

La contaminación creciente de la biosfera, provocada por los desechos industriales, agrícolas (pesticidas), radiactivos y humanos (basuras, anhídrido carbónico), constituye una considerable contribución del hombre al deterioro del medio ambiente. Las construcciones, finalmente, se extienden cada vez más en las zonas rurales y reducen mucho el porcentaje de tierras cultivadas.



Fot. Lourdelle-Sepa-Press

La población humana, en constante incremento, es otro elemento importante que contribuye poderosamente al deterioro del medio ambiente.

FACTORES GEOGRÁFICOS E HISTÓRICOS

El viento. — El *viento*, que interviene en la polinización anemófila propia de la fecundación de las palmeras y en el transporte de diversas semillas, es un factor de la formación o destrucción del suelo, como puede observarse en las dunas marítimas, en las que la parte orientada hacia el mar aumenta en espesor y se cubre con una vegetación superficial que contribuye a la fijación de las arenas.

La acción eólica puede además provocar el empobrecimiento de los suelos al llevarse las partes más ligeras de la capa superficial y dejar al descubierto los estratos rocosos y áridos. Si el viento es borrascoso (tornado), los desplazamientos de tierra a que da lugar llegan a ser de gran magnitud.

La acción del viento en la montaña es bastante característica al impedir el desarrollo normal de las ramas, que suelen aparecer solamente en el lado menos batido del tronco. Un fenómeno análogo se produce en las laderas, donde los árboles aparecen inclinados en el sentido del viento dominante, con las ramas torcidas y, a veces, dirigidas hacia el suelo.

El relieve. — Los *factores topográficos* influyen de modo notable en los caracteres ecológicos y modifican la biocenosis. Así, la altitud altera las condiciones del clima, principalmente la temperatura y la humedad. Una determinada orientación da lugar a períodos mínimos de insolación, con los consiguientes fenómenos térmicos que esto ocasiona en un biotopo. Las masas de nieve que permanecen durante todo el período estival en las laderas situadas al norte de algunas formaciones montañosas, donde se localizan biotopos fríos, constituyen un ejemplo característico.

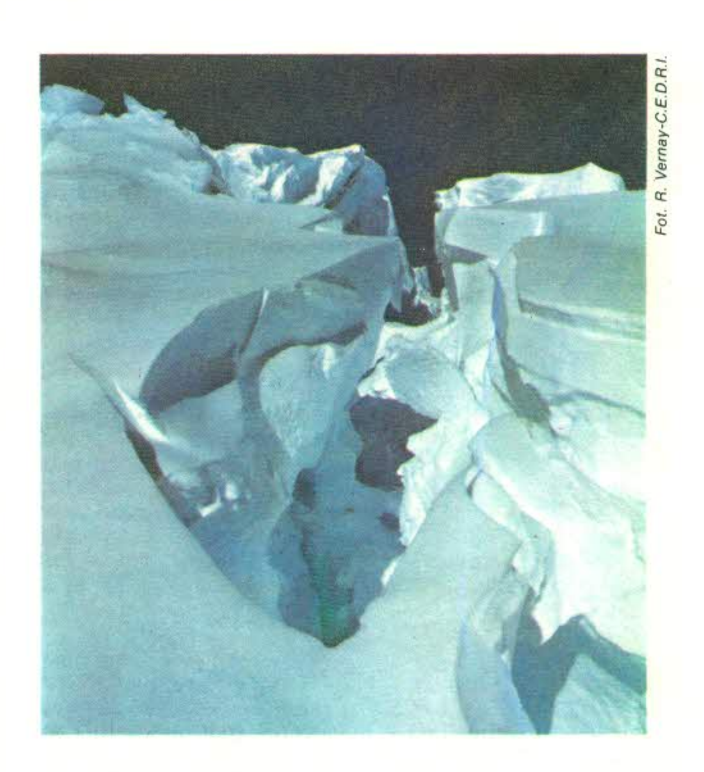
La inclinación del terreno se considera también como un factor ecológico de acción directa, ya que facilita el movimiento de algunos elementos del suelo de la estación, e influye igualmente en la climatología a causa de la mayor o menor oblicuidad de la superficie en relación con los rayos solares.

La función que desempeña el relieve en Ecología presenta, por consiguiente, gran complejidad, puesto que, en muchos casos, intervienen al mismo tiempo varios e incluso numerosos elementos.

Circunstancias geológicas e históricas. — Algunas especies animales o vegetales se hallan hoy en zonas discontinuas del Planeta, separadas a veces por largas distancias y por grandes accidentes geográficos. La Paleogeografía, ciencia que estudia la reconstrucción del relieve del globo terrestre en épocas o eras muy anteriores, proporciona la explicación de esta singularidad.

Los cambios climáticos que tuvieron lugar en el Cuaternario, particularmente las glaciaciones, así como los fenómenos geológicos de épocas anteriores, determinaron una distribución de la fauna y de la flora en la superficie terrestre que sería incomprensible sin recurrir a los conocimientos geofísicos.

Entre los factores históricos cabe incluir la acción del hombre, ya descrita anteriormente. Son por otra parte muy conocidos los intercambios de especies animales y vegetales que se llevaron a cabo en la época de los grandes descubrimientos geográficos. A modo de ejemplos pueden citarse la adaptación del caballo, llevado a América por los españoles, y la aclimatación en el Viejo Continente de plantas oriundas del Nuevo Mundo (patata, tomate, tabaco, bejuco, maíz, yuca, aguacate, maní o cacahuete, etc.).


Fot. R. Vernay-C.E.D.R.I.

Uno de los glaciares de Tierra Adelaida en la Antártida.

Zoogeografía

La *Zoogeografía* estudia la distribución de los animales en la Tierra y los agrupa en *fauna terrestre* propiamente dicha y *fauna acuática*.

FAUNA TERRESTRE

El clima y el suelo condicionan en gran parte la vegetación, uno de los factores determinantes de la distribución de los animales terrestres. La altitud, la latitud geográfica y la mayor o menor proximidad al mar son también elementos que inciden en las características de la fauna continental.

Los animales, para adaptarse a la vida terrestre, sufrieron una serie de transformaciones morfológicas, entre las que se encuentran modificaciones en la piel (recubrimiento quitinoso), en el aparato respiratorio, que necesita ser traqueal o pulmonar, y en los órganos de locomoción, que deben poder soportar el peso propio y ser capaces de efectuar desplazamientos por medio de la carrera o de saltos.

Numerosos mamíferos, anfibios, reptiles, aves e insectos pertenecen a la *fauna terrestre*, que es, sin embargo, más pobre que la acuática. Según su particular adaptación biológica, estos animales suelen clasificarse en *terrícolas*, *cavernícolas*, *hipogeos*, *aerícolas*, *arborícolas*, *acuícolas* y *limícolas*.

Terrícolas. — Reciben el nombre de *terrícolas*, tomando esta denominación en sentido restringido, los animales que habitan en la superficie del suelo. Forman un grupo muy numeroso, con características diversificadas. Algunos de ellos están dotados de patas muy desarrolladas, necesarias para una locomoción rápida, que a veces se efectúa a saltos (canguro). Los roedores, como los conejos, tienen incisivos muy afilados.

Cavernícolas e hipogeos. — Los animales *cavernícolas* o *cavícolas*, como indica su nombre, viven en cavidades o lugares resguardados, donde no penetra la luz. Por esta razón tienen ojos muy atrofiados y carecen de pigmentos en la piel, pero, en cambio, el olfato y los órganos táctiles se hallan más desarrollados. Algunos anfibios pertenecen a la fauna cavernícola, lo mismo que el cangrejo y ciertos insectos.

Los *hipogeos* son animales de vida subterránea que han sufrido importantes modificaciones para adaptarse a este medio (cuerpo alargado, ojos atrofiados, patas delanteras cavadoras). Pueden citarse, como ejemplo, el alacrán cebollero y el topo.

Aerícolas y arborícolas. — Los animales *aerícolas* están morfológicamente adaptados para mantenerse en el aire. Entre ellos se encuentran las aves, numerosos insectos y algún que otro mamífero, como el murciélago.

Los *arborícolas* poseen cola prensil, discos adhesivos y otras características que les permiten vivir entre la vegetación arbórea. Forman parte de este grupo los reptiles (camaleón), los mamíferos (monos) y algunos anfibios y aves.

Acuícolas y limícolas. — Los animales *acuícolas* habitan a orillas de las aguas interiores (ríos, lagos) en las cuales pueden tambien desplazarse. Algunas aves (zancudas, palmípedas) y mamíferos (nutria, castor) se hallan incluidos en esta división.

Se reserva la denominación de *limícolas* a las especies que viven en las aguas pantanosas y en el cieno de los lagos, como ocurre con algunas palmípedas.

FAUNA ACUÁTICA

La *fauna acuática*, más variada y numerosa que la terrestre, se divide en *marina* y *dulceacuícola*, si el medio ambiente es agua de mar, con su correspondiente concentración salina, o agua dulce de ríos y lagos.



Fot. Cl. Cani-Jacana

Fauna marina. — En la *fauna marina* se encuentran, con excepción de los anfibios, animales de todos los grupos, que viven a veces en el fondo del mar (esponjas, celentéreos, briozoos, ascidias, braquiópodos, crustáceos cirrípedos, ostras, etc.) y forman en este caso, junto a las algas, un revestimiento más o menos denso.

Atendiendo a la zona del mar en que moran, hay que distinguir los animales *planctónicos*, que flotan en las aguas y carecen de movimiento propio (medusas, protozoos), los *nectónicos*, que se hallan en zonas más o menos profundas del mar y están capacitados para nadar libremente (peces, cetáceos), y los *bentónicos*, cuyo hábitat es el fondo marino y que viven unas veces fijos a las rocas (coral) y otras con libertad de movimientos (congrio, lenguado).

Las características morfológicas de la fauna marina y las posibilidades de adaptación que ésta posee dependen de la profundidad del mar, que suele dividirse en tres grandes zonas : *litoral*, *pelágica* y *abisal*. La primera corresponde a las aguas costeras que cubren la plataforma continental, afectada por el oleaje, y los animales que habitan en ella necesitan protegerse con caparazones (moluscos) o tienen que fijarse al fondo (estrella de mar). La segunda comprende lo que se llama *alta mar* y, con una profundidad que puede alcanzar 1 000 m, ocupa los dos tercios de la superficie de la Tierra. En ella se hallan principalmente los animales nadadores (peces, escualos) y otros que se desplazan gracias a las corrientes. La tercera se encuentra en profundidades superiores a 1 000 m y se caracteriza por la oscuridad y por la tranquilidad del agua. Carece de vegetación, debido a la falta de luz, y los animales que allí viven han de alimentarse de peces muertos procedentes de las capas pelágicas. Para adaptarse a esas condiciones, los habitantes de este medio poseen largas antenas y, a veces, elementos fosforescentes capaces de proyectar una luz tenue.

Fauna dulceacuícola. — A la *fauna dulceacuícola* pertenecen diversos peces, moluscos, crustáceos, gusanos, protozoos, celentéreos y espongiarios. Algunos de ellos proceden de la fauna marina, pero otros se han adaptado a este medio a partir de la vida terrestre. La luz, el agua, la temperatura y la baja salinidad condicionan la vida de estos animales.

Así, la influencia de la luz se manifiesta en el mayor o menor desarrollo de los pigmentos y, por tanto, en la coloración del cuerpo. Se observa este fenómeno al comparar los animales, carentes de color o con tonos apagados, que viven parcialmente en la oscuridad con aquellos otros que se hallan más expuestos a la luz y presentan una coloración determinada. Hay además animales nocturnos y diurnos, entre los que también aparecen algunas diferencias de orden morfológico (desarrollo de los ojos, presencia de órganos fosforescentes).

El agua o la humedad exige una adaptación especial de los anfibios, dotados de tegumentos blandos que facilitan la transpiración. Los reptiles disponen de escamas duras con las que se protegen de los ambientes demasiado secos. Los peces son, sin duda alguna, los mejor adaptados a este medio.

La salinidad condiciona notablemente la vida de la fauna acuática. Casi todos los animales marinos son incapaces de adaptarse al agua dulce, a causa de la diferencia existente en las concentraciones salinas. Sólo el salmón y la trucha pueden adentrarse en los cursos de agua y el primero de estos peces, que procede del mar, está dotado de un gran poder de adaptación.

La fauna marina vive a menor o mayor profundidad en un medio ambiente acuático de concentración salina variable.

Fitogeografía

La *Fitogeografía* estudia la distribución de las plantas en la Tierra y, según el medio en que éstas viven, las divide en *vegetación terrestre* y *vegetación acuática*.

VEGETACIÓN TERRESTRE

En función de distintos factores, como el clima, la altitud y las coordenadas geográficas, los vegetales se distribuyen de muy diversa manera por la superficie terrestre. La acción del hombre tampoco es ajena a esta repartición, ya que zonas antiguamente muy ricas en vegetación aparecen yermas en la actualidad, mientras que otras, desérticas hasta hace poco, han sido felizmente transformadas en auténticos vergeles mediante una eficaz política de regadío y repoblación. Pueden citarse, en este último caso, las tierras de Israel.

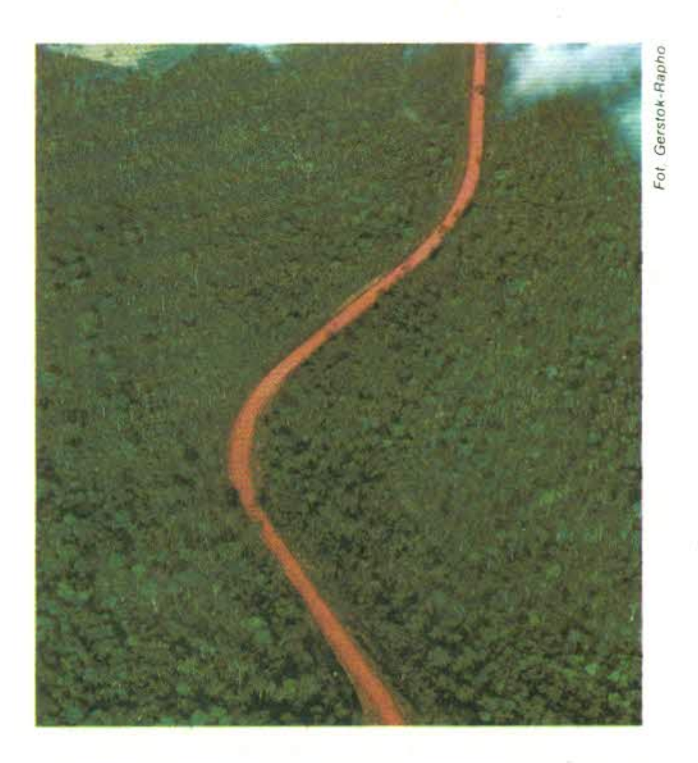
Las plantas se hallan unidas unas con otras y originan unas formaciones vegetales que se integran en un determinado biotopo. Estas agrupaciones, que se estudiarán a continuación, son de cuatro tipos : *pradera*, *matorral*, *bosque* y *desierto*.

Pradera. — La *pradera* es una formación herbácea propia de las regiones de clima templado y húmedo. En el mismo grupo hay que considerar la *estepa*, caracterizada por la discontinuidad del tapiz vegetal y constituida por plantas xerófilas que nacen en primavera y se marchitan al llegar la estación estival. La Pampa argentina y grandes extensiones de América del Norte, Rusia y Siberia son prototipos de regiones esteparias. La *sabana*, propia del trópico, se distingue por la abundancia de árboles y arbustos.

Matorral. — El *matorral*, agrupación vegetal formada esencialmente por matas leñosas de tipo xerofítico (retama, romero, tomillo, etc.), es característico de la cuenca del Mediterráneo, así como de algunas áreas de Australia y de África del Sur.

La degradación del encinar mediterráneo, sobre todo el situado en terrenos calcáreos, ha provocado una formación de matorral, llamada *garriga*, en la que predominan la coscoja, árbol achaparrado, y diversas especies aromáticas.

Bosque. — El *bosque* está constituido por árboles de grandes dimensiones, junto a los cuales crecen numerosos arbustos y plantas herbáceas. En este grupo hay que incluir la *selva virgen* y la *selva monzónica*.



La inmensa y poblada selva virgen amazónica se encuentra atravesada de parte a parte por una carretera.

La selva virgen está formada por árboles de gran tamaño y una vegetación muy tupida a causa de las abundantes lluvias y de las elevadas temperaturas existentes en las regiones ecuatoriales. Algunas plantas viven parásitas en las raíces de otras. Las zonas forestales más conocidas se encuentran en Asia, África y América del Sur y tienen notable importancia comercial por la intensa explotación maderera.

En la selva monzónica, el tamaño de los árboles es menor que en la anteriormente descrita. Esta formación es frecuente en algunos países asiáticos en los que los períodos secos se alternan con los de gran pluviosidad.

Entre los bosques se incluyen también los pinares, masas arbóreas de coníferas (pinos) de las zonas templadas y frías, especialmente de las altas montañas.



Caballos salvajes en una de las numerosas estancias de la esteparia y extensa región argentina de la Pampa.



Característico paisaje árido del desierto del Sáhara.

Desierto. — El *desierto* consiste en una zona seca donde la vegetación no puede desarrollarse o se reduce a plantas muy aisladas unas de otras. La escasez o carencia de lluvias provoca la formación de estas zonas áridas. Las plantas capaces de brotar en ellas se caracterizan por tener tallos carnosos que retienen el agua. La aparición de capas acuíferas profundas da lugar a un *oasis*, pequeña zona donde abundan las palmeras. El Sáhara y el Kalahari, en África del Norte y austral respectivamente, son los desiertos más conocidos.

Otros desiertos, llamados *tundras*, se encuentran en las regiones más frías de la Tierra, como Siberia, Groenlandia y países escandinavos, y en ellos el suelo apenas está cubierto por musgos y líquenes.

Adaptación de las plantas. — Las plantas, del mismo modo que los animales, experimentan una serie de variaciones debidas a factores como el agua, la luz, la temperatura y el suelo.

El agua, elemento indispensable para el desarrollo de la vida vegetal, interviene en la nutrición y la transpiración, facilitando las diferentes adaptaciones morfológicas según los grados de humedad del suelo o de la atmósfera. Así, las plantas que viven en ambientes muy húmedos se caracterizan por la amplitud del limbo de las hojas y por la profusión de estomas, lo que favorece la transpiración. Las que habitan en un entorno seco poseen, en cambio, hojas muy pequeñas, que a veces llegan a desaparecer, con lo que reducen la pérdida de agua, y un sistema radicular muy amplio, capaz de absorber la mayor parte del agua suministrada por el suelo.

La luz influye en la vida de los vegetales al intervenir en el fenómeno de la fotosíntesis. Las adaptaciones del vegetal consisten en reducciones de las partes aéreas, destinadas a protegerse del exceso de luz (musgos, helechos), o en disposiciones peculiares de ramas y hojas para el mayor aprovechamiento de los rayos solares.

Cada especie vegetal tiene una temperatura óptima que permite que se desarrolle en las mejores condiciones. Para superar las circunstancias climáticas desfavorables, las plantas disponen de varios recursos de adaptación. Así, las herbáceas perennes se despojan de las hojas durante el invierno, mientras que en las partes subterráneas germinan unas yemas que brotarán al llegar la primavera; las plantas que crecen en climas continentales pierden también las hojas en invierno, pero al llegar la estación propicia surgen los nuevos brotes; la vegetación alpina o ártica tiene poca altura para sacar el mayor provecho posible del calor del suelo.

El suelo es, finalmente, otro condicionante de las plantas. Factores importantes del mismo son la composición química, la permeabilidad y la cantidad de humus, es decir, la materia resultante de la transformación de sustancias orgánicas. En los suelos arenosos o pedregosos, por ejemplo, sólo pueden vivir plantas capaces de extender al máximo las raíces para absorber el agua que se encuentra en estos terrenos muy permeables.

VEGETACIÓN ACUÁTICA

Debido a la menor influencia del clima, la vegetación acuática se halla biológicamente menos diferenciada que la terrestre.

Formaciones marinas. — La *vegetación marina*, en contraste con la riqueza de la fauna, se reduce a algas y bacterias, que ejercen, sin embargo, una importante función al ser, respectivamente, productores primarios y factores de desintegración de otros organismos vivos.

Las *algas*, dotadas de pigmentos fotosintéticos que les permiten vivir a diferentes profundidades, se hallan en las aguas situadas por encima de la plataforma continental. Las que están más arriba son rojas, mientras que las que las siguen son pardo amarillentas o verdes, según las distancias que las separan de la superficie del mar. Estas formaciones, sobre todo las que son unicelulares (diatomeas), representan el principal elemento de nutrición de numerosas especies animales del plancton, y éstas, a su vez, constituyen el de la fauna pelágica, estableciéndose así una serie de cadenas alimentarias.

Las *bacterias*, factores esenciales de desintegración en los ecosistemas, pueden habitar junto al plancton, pero se encuentran sobre todo en los fondos marinos, donde llegan los residuos procedentes de los organismos pelágicos muertos.

Más allá de las plataformas continentales, los océanos alcanzan profundidades abisales y no hay algas fijas al fondo. La producción primaria la realiza exclusivamente el fitoplancton, es decir, algas que viven a menos de 100 m y que reciben una cantidad de luz suficiente para efectuar la fotosíntesis. Sólo algunas bacterias quimiosintéticas de las zonas más hondas del océano son productores primarios, ya que representan una aportación de materia orgánica para el consumo, pero esas regiones dependen fundamentalmente de las capas superiores de las cuales proceden organismos muertos, que son desintegrados por ciertas bacterias adaptadas para la vida en un ambiente de presión muy elevada.

Formaciones dulceacuícolas. — Las *formaciones dulceacuícolas* se conocen mejor que las marinas porque ocupan un espacio limitado y constan de un número reducido de especies.

En las zonas litorales de los lagos se encuentran a veces algunas algas, que no son nunca de gran tamaño, y los vegetales que allí viven suelen tener flores anfibias o totalmente acuáticas.

Las aguas corrientes constituyen un medio bastante diferente del anterior. Junto a los manantiales crecen el musgo y algunas algas pequeñas; en los torrentes y arroyos, a causa de la fuerte corriente, la vegetación es pobre; la zona media de los ríos ofrece mayor riqueza vegetal y en la desembocadura de éstos el desarrollo suele ser mucho más exuberante y existen incluso numerosas plantas fanerógamas.

Individuos y comunidades

La vida de cada ser vivo no es independiente, sino que se halla ligada a la de un conjunto de individuos pertenecientes a la misma o a distinta especie e, incluso, a veces a reinos completamente diferentes. El conjunto de individuos de la misma especie recibe, según el término empleado corrientemente en la ciencia de la Ecología, el nombre de *población* y ésta, cualesquiera que sean las circunstancias, ha de vivir en una relación más o menos estrecha con las otras que comparten su medio ambiente.

Asociaciones

Una *asociación* está formada por seres vivos que se relacionan de algún modo entre sí y puede ser intraespecífica o interespecífica, según que los individuos considerados pertenezcan a la misma o a diferente especie.

ASOCIACIONES INTRAESPECÍFICAS

Asociación familiar. — La *asociación familiar*, cuya finalidad es la procreación y el cuidado de la prole, tiene varias modalidades : unas regidas por el principio de la *monogamia* (un macho y una hembra), como es el caso de la paloma, y otras por el de la *poligamia* (un macho y varias hembras), cuyo ejemplo más característico es el del gallo y la gallina.

Según que el predominio sea ejercido por el padre, por la madre o por los hijos, se habla de *asociaciones patriarcales, matriarcales* o *filiales*. La duración de la relación entre los individuos que constituyen estas agrupaciones puede ser permanente o, más frecuentemente, limitarse a un año o, incluso, a una estación.

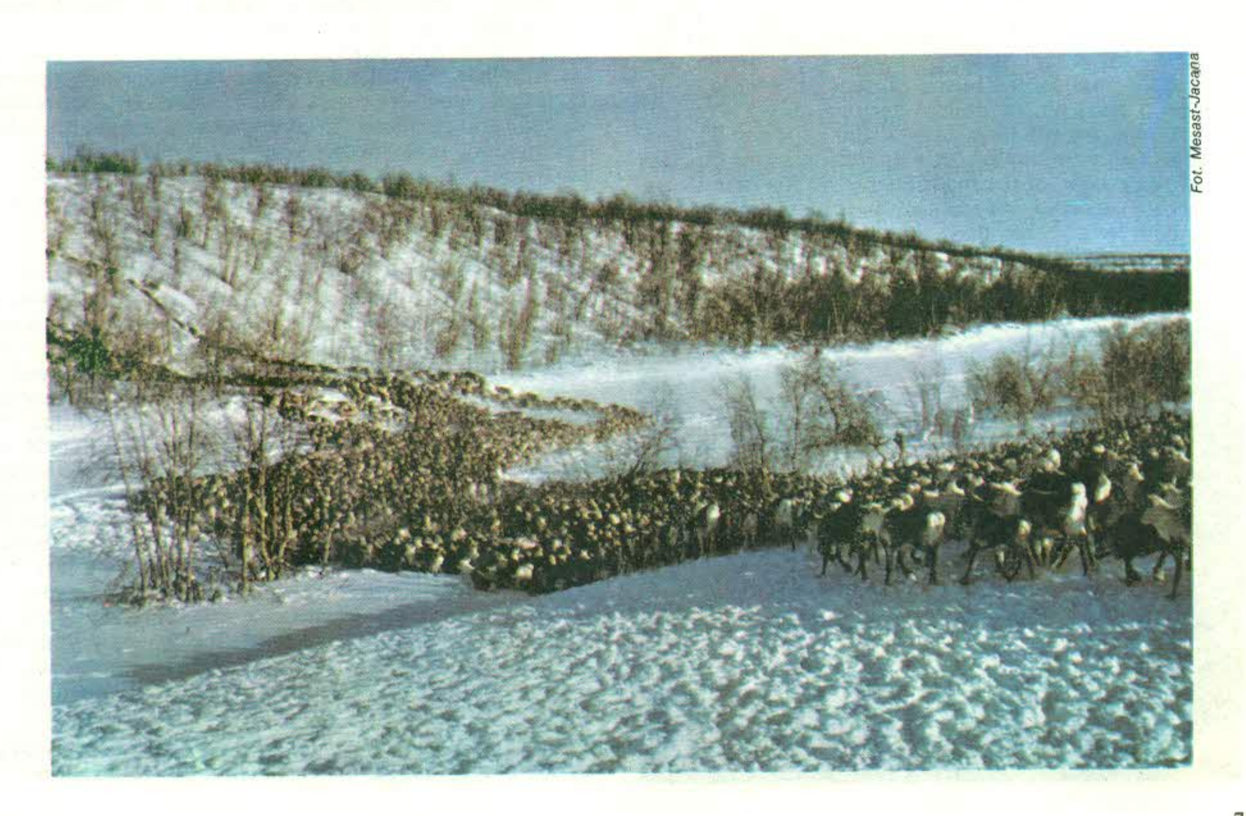
Asociación gregaria. — El objetivo de la *asociación gregaria* es la unión de los individuos con vistas a la defensa, a la alimentación o a la emigración.

Esta agrupación, motivada por una serie de estímulos individuales, está constituida a veces por miembros que pertenecen a una misma generación y que se limitan a continuar viviendo juntos, como ocurre con diversos bancos de peces o con las temidas nubes de langostas, y otras veces presenta una verdadera jerarquización entre sus componentes, en la que los más caracterizados ejercen la función de guías, como sucede en las manadas de animales donde los más jóvenes siguen a los más viejos. Esta asociación, en no pocas ocasiones, es meramente ocasional y está destinada a llevar a cabo una acción determinada, como sería, por ejemplo, la emigración de ciertas aves en busca de climas mucho más templados.

Asociación colonial. — La *asociación colonial* es propia de los seres de la misma especie que viven unidos y que proceden de la reproducción por gemación de un individuo. Pertenecen a ella los corales, que entran en el phylum de los celentéreos, los espongiarios y los briozoos. Los componentes de esta última colonia se forman alrededor de una especie de esqueleto común, llamado *polípero*, y comunican entre sí por medio de *sifones*, semejantes a canales.

Existen *colonias homomorfas*, constituidas por una clase de pólipo o individuo, y *heteromorfas*, en las que los pólipos tienen diferencias fisiológicas o funcionales.

Gran emigración de renos en el norte de Europa (Laponia), muestra de una asociación gregaria constituida por animales.



Fot. Mesasi-Jacana

Fot. J. Six



Las abejas forman entre sí una de las más características y eficientes asociaciones estatales o sociales.

Comensalismo. — El *comensalismo* consiste en la asociación de un animal con otro de distinta especie, en la que el primero aprovecha los residuos alimenticios de su huésped.

Entre los varios casos de comensalismo hay que mencionar el de las bacterias y protozoos que viven en el intestino de los animales, el de los pájaros e insectos que lo hacen alrededor de ciertos herbívoros, y el de las rémoras que se adhieren a los cetáceos dejándose transportar por ellos y nutriéndose con los alimentos que éstos no utilizan.

Los comensales pueden ser del mismo tamaño que el huésped o diferir mucho de él. En este último caso se produce una tendencia al parasitismo por parte del menor, aunque no resulta fácil fijar el límite que separa estos dos tipos de asociaciones. Cabe señalar, sin embargo, que, cuando se trata de comensalismo, la relación no debe resultar perjudicial para ninguno de los dos componentes.

Asociación estatal. — La *asociación estatal*, llamada también *social*, se distingue por el polimorfismo y por la jerarquización de sus miembros, a pesar de que éstos pertenecen a la misma especie. Algunos individuos, machos y hembras, son aptos para la reproducción, mientras que los demás son estériles y tienen como única misión la de trabajar para la comunidad. Las hormigas, abejas, avispas y termes, ejemplos característicos de esta clase de asociación, tienen en su comportamiento gran semejanza con la sociedad humana, ya que entre sus componentes se establece una verdadera distribución del trabajo y de las funciones.

ASOCIACIONES INTERESPECÍFICAS

Inquilinismo. — El *inquilinismo* es una asociación entre seres vivos de distinta especie, mediante la cual uno de los componentes busca protección en los otros, sin causar a éstos ningún daño o perjuicio y sin perseguir la satisfacción de sus necesidades alimenticias. Se pueden citar como ejemplo de esta agrupación muchos insectos que viven en las madrigueras de los mamíferos y en los nidos de las aves, algunos crustáceos que se cobijan bajo las conchas de los moluscos y ciertos peces que se resguardan dentro de la umbrela de las medusas.

Simbiosis y mutualismo. — La *simbiosis* es la asociación de dos seres de distinta especie, beneficiosa para ambos. Existe una gradación en este tipo de agrupación, que va desde la necesidad absoluta de verificarla para que los componentes puedan vivir hasta aquellos otros casos en que esta unión es meramente facultativa y recibe el nombre de *mutualismo*.

Un ejemplo de simbiosis es el de los microorganismos alojados en el intestino de los animales. Aquéllos se alimentan de la celulosa resultante de la digestión, la cual no podría ser asimilada sin la ayuda de las enzimas del huésped. En el reino vegetal cabe mencionar también las bacterias que habitan en las raíces de ciertas leguminosas a las cuales aportan el complemento de sustancias nitrogenadas necesarias para desarrollarse.

Un caso típico de mutualismo lo constituye la asociación entre la actinia y el cangrejo ermitaño, en la que el último aprovecha para defenderse las cápsulas urticantes de aquélla y ésta, a su vez, se beneficia del transporte facilitado por el crustáceo. No existe, en realidad, mutualismo perfecto, ya que sólo se presenta cuando las condiciones del medio son favorables para los dos partícipes. Si éstas no son propicias para cualquiera de los asociados, o para ambos, uno de ellos se convertirá en parásito del otro.

Parasitismo. — El *parasitismo* consiste en que un ser se alimenta a costa de otro, con daño y perjuicio para el segundo. Se trata del tipo de asociación más extendido tanto en animales como en vegetales.

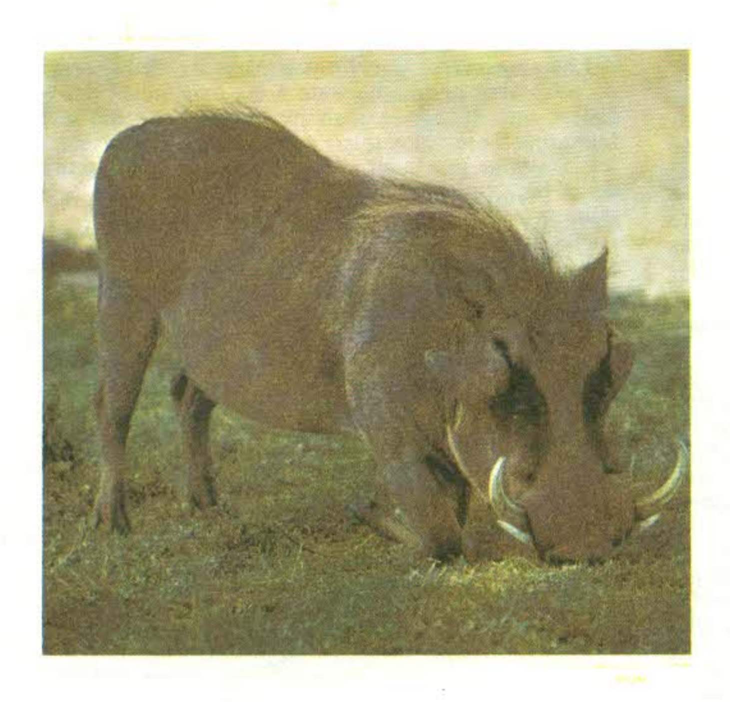
Entre los parásitos animales hay que distinguir los *ectoparásitos*, localizados en el exterior del huésped, como la pulga y el piojo, y los *endoparásitos*, que viven en el interior del organismo del huésped, como la tenia y las lombrices. El ciclo vital de un parásito exige a veces el paso por dos o más huéspedes, como ocurre con el agente productor del paludismo *(Plasmodium vivax)*, que primero vive en un mosquito anofeles y se transmite luego al hombre por medio de este insecto.

El modelo típico de parasitismo entre vegetales es el de la roya del trigo, hongo que se alberga en este cereal y causa una enfermedad que afecta al tallo y a las hojas de la planta, que aparece con manchas originadas por agrupación de esporas de tamaño y color distintos.

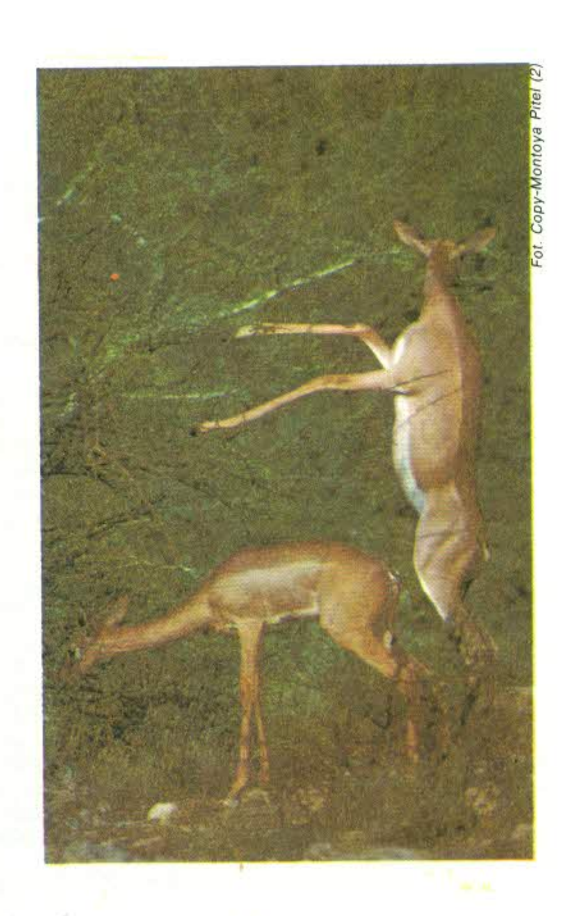
Fot. Vasselet-Atlas-Photo



Los espulgabueyes o picabueyes liberan a ciertos animales de los ectoparásitos, especialmente de los insectos.



El facoquero, llamado también jabalí verrugoso, es un animal que vive en mesocomunidades situadas esencialmente en regiones boscosas y esteparias de África.



La longitud y esbeltez del cuello y de las patas de las gacelas se deben a ciertos factores ecológicos y a la selección natural.

El parasitismo, desde el punto de vista ecológico, consiste básicamente en una relación entre el agente depredador y la presa en la cual no se produce, al menos de modo inmediato, la muerte de la víctima y su consumo por parte del agresor. Puede alterar el orden normal establecido por la cadena alimentaria, como suele ocurrir muy a menudo cuando un parásito vegetal se nutre a expensas de un animal.

Comunidades

Recibe el nombre de *comunidad* la agrupación de individuos, tanto animales como vegetales, en un mismo biotopo. Los individuos no viven aislados, según se ha afirmado, y están obligados a establecer un determinado tipo de relación con otros de la misma o de distinta especie e incluso con seres de un reino diferente.

Características de una comunidad. — Todas las especies desempeñan una determinada función en la comunidad que pueblan, en la cual el conjunto de animales y plantas que vive en el mismo biotopo puede satisfacer sus necesidades más indispensables. El término indicado se identifica en este caso con el ya explicado de *biocenosis*, y el de «biotopo» puede ampliarse diciendo que se trata de un territorio más o menos extenso y provisto de recursos suficientes para que se mantenga la vida de una comunidad. En ella, por consiguiente, se producen interacciones entre todos los componentes y entre éstos y el medio ambiente. Estas interacciones son precisamente las que dan a esa agrupación la estructura y el funcionamiento que le son peculiares y que han permitido compararla con una especie de superorganismo que goza de una vida de independencia relativa.

Nicho ecológico. — Se entiende por *nicho ecológico* las características ecológicas propias de la especie referentes al hábitat, a la alimentación, a la resistencia respecto al medio ambiente, a las relaciones con otras especies y al modo y lugar de reproducción.

Todos los ecólogos admiten que dos especies en un determinado territorio no pueden ocupar el mismo nicho ecológico, ya que una de ellas eliminaría a la otra. Esta regla fundamental de la Ecología fue intuida hasta cierto punto por el naturalista inglés Charles DARWIN (1809-1882), cuando, al formular la teoría de la evolución, se refirió a la selección natural. De acuerdo con este principio, si dos especies coinciden en una comunidad y los recursos del hábitat no son suficientes para el mantenimiento de ambas, una de ellas se verá obligada a modificar su modo de alimentación o, si esto no se realiza, será exterminada por la especie rival más poderosa.

Clases de comunidades. — Si se considera la extensión que ocupan las comunidades, hay que distinguir las llamadas *macrocomunidades*, de dimensiones gigantescas como la que se asienta en el biotopo oceánico que cubre una superficie de millones de kilómetros cuadrados, las *mesocomunidades*, de tamaño medio como las existentes en las selvas y en los bosques, y las *microcomunidades*, zonas muy reducidas de actividad biótica como puede ser la flora intestinal de un rumiante. Estas agrupaciones, por tanto, se encuentran incluidas unas dentro de otras y se diferencian entre sí por los miembros que las componen y por una serie de características peculiares.

Ecosistemas

Como se explicó anteriormente, el conjunto formado por la biocenosis (comunidad) y el biotopo constituye el *ecosistema*. El mayor de éstos es el globo terrestre o biosfera, cuyo estudio es muy complejo, por lo que este análisis se hará a partir de sistemas ecológicos más localizados.

COMPONENTES Y ESTRUCTURA DEL ECOSISTEMA

Componentes bióticos. — Los seres vivos que forman una comunidad se denominan *componentes bióticos*, de configuración y tamaño muy variados, y pertenecen tanto al reino vegetal como al animal. Desde el punto de vista de la nutrición, se distinguen dos grandes grupos de seres vivos que reciben los nombres de autótrofos y heterótrofos.

Los *autótrofos*, llamados también *productores*, se nutren exclusivamente de compuestos inorgánicos, extraídos del aire, del agua o del suelo, y con ellos satisfacen sus necesidades biológicas y desarrollan una energía química capaz de transformar estos alimentos en materia orgánica. Estos seres, que obtienen el carbono únicamente a partir del anhídrido carbónico, se subdividen a su vez en *fotosintéticos*, que utilizan la luz como fuente de energía para realizar síntesis orgánicas (plantas verdes y algunas bacterias), y *quimiosintéticos*, carentes de clorofila, pero capaces de provocar determinadas reacciones en su medio y de aprovechar la energía producida (ciertas bacterias).

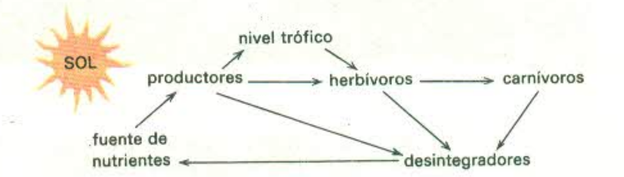
Los *heterótrofos*, denominados también *consumidores*, se nutren de materia orgánica previamente sintetizada por los autótrofos. Dentro de este grupo se incluyen todos los animales y algunos microorganismos *desintegradores*, como las bacterias del fondo oceánico, que transforman los residuos orgánicos en materia inorgánica.

Componentes abióticos. — Entre los *componentes abióticos*, es decir, sin vida, del ecosistema se encuentran el clima, la altitud, el suelo, la erosión, los sedimentos, la evaporación, etc., así como numerosas reacciones químicas que modifican de manera constante las materias disponibles y la energía del sistema ecológico.

Los seres vivos que forman parte del ecosistema han de adaptarse necesariamente a las exigencias del medio físico que les rodea, so pena de perecer. Existen numerosos ejemplos que ilustran esta adaptación, entre los cuales se puede citar el de la piel grasa y escurridiza de la foca, que permite a este animal vivir en regiones polares y moverse por el agua a gran velocidad.

Estructura del ecosistema. — Desde los puntos de vista trófico (relativo a la nutrición) y energético, el ecosistema muestra cierta organización, ya que entre sus diferentes componentes se establece un flujo de moléculas portadoras de energía, con pérdidas importantes de ella, compensadas por la acción de la radiación solar.

Se explicó anteriormente cómo esta captación de energía del ecosistema se inicia en las plantas verdes, continúa a través de los animales herbívoros y carnívoros y termina con los desintegradores antes de que vuelva a comenzar un nuevo ciclo. La estructura que se acaba de mencionar puede representarse esquemáticamente del siguiente modo :



Los ecosistemas son abiertos, es decir, la energía y la materia escapan de modo ininterrumpido de ellos al ser consumidas por los seres vivos, pero los componentes abióticos reponen estas pérdidas. Si la renovación, por cualquier causa, se revela insuficiente, el ecosistema tiende a desaparecer.

Los intercambios energéticos y de materia se realizan también con los sistemas vecinos y esta interdependencia permite considerar la biosfera terrestre como un único y gigantesco ecosistema en el que cualquier desequilibrio llega a reflejarse. La destrucción de extensas zonas forestales, por ejemplo, tiene como consecuencia una modificación del clima que, de la misma manera, repercute en el caudal del sistema hidrográfico y afecta, a su vez, a la fauna dulceacuícola de éste.

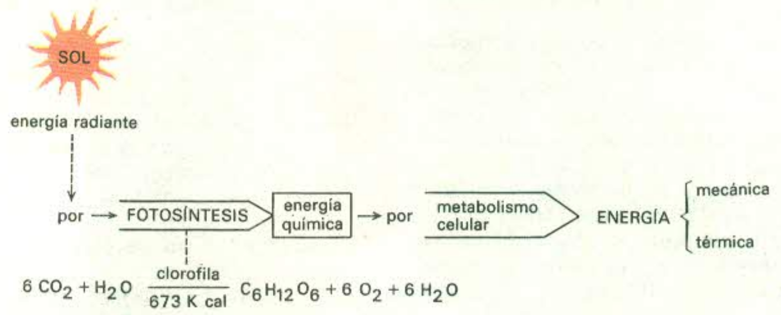


Fot. Algar

Los incendios forestales, provocados la mayoría de las veces por la desidia del hombre, afectan profundamente al equilibrio existente en los ecosistemas.

DINÁMICA DEL ECOSISTEMA

Flujo de energía. — El *flujo energético* del ecosistema procede del Sol y sigue una dirección única, no cíclica, que queda reflejada en el siguiente esquema :



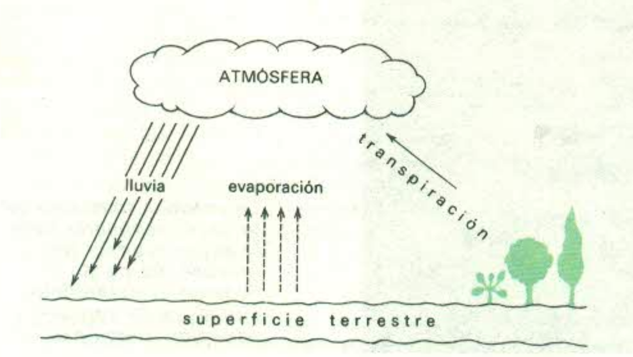
En esta cadena se ve cómo las plantas verdes reciben directamente la energía solar, asimilada luego, gracias a la fotosíntesis, por la materia orgánica que la transmite después a los animales herbívoros y carnívoros.

Cadena alimentaria. — La *cadena alimentaria*, llamada también *cadena trófica*, está formada por los seres vivos que se alimentan unos de otros según un orden determinado. Cada uno de los eslabones de la misma recibe el nombre de *nivel trófico*.

Partiendo de elementos abióticos (aniones, cationes y sales), que corresponden al primer nivel trófico, se llega al segundo, donde se encuentran los componentes autótrofos vegetales. Los animales herbívoros, que se alimentan de ellos, están en el tercer nivel y son la base nutricia de los carnívoros primarios o cuarto nivel trófico. Los carnívoros secundarios, que se sustentan con los anteriores, forman el último nivel, aunque suele considerarse también como otro eslabón de la cadena alimentaria a los *desintegradores*, microorganismos que descomponen los cadáveres y excrementos transformándolos en materia mineral. De este modo se completa el ciclo, que puede iniciarse de nuevo en cuanto los seres del primer nivel utilicen de alguna manera estos desechos.

Ciclo del agua. — El agua, disolvente de muchas sustancias orgánicas y con un pH neutro, constituye un factor esencial que interviene en todos los niveles, desde el celular hasta el poblacional más complejo.

La evaporación de los mares, ríos y lagos forma las nubes que, en forma de lluvia o nieve, restituyen el agua a la superficie terrestre. Los manantiales, cursos de agua y capas freáticas se ven así alimentados constantemente. Este ciclo puede representarse por el siguiente gráfico :



Ciclo de los elementos. — Además de la energía, de la que se ha hablado anteriormente, la vida de todos los seres depende asimismo de la utilización de varios elementos que les son siempre indispensables con objeto de mantener el equilibrio dinámico de los procesos vitales.

Se suele establecer una subdivisión entre el ciclo de los elementos gaseosos (O, C y N) y el de los sedimentarios (S y P). Entre los primeros, el *oxígeno* procede del aire o del agua y constituye el oxidante que los organismos utilizan en los procesos de fermentación y en las respiraciones aerobia y anaerobia. Retorna al ambiente en combinación con el agua o con el dióxido de carbono. El *carbono*, componente esencial de la materia orgánica, existe en gran cantidad en la biosfera, tanto en el suelo como, en forma de anhídrido carbónico (CO_2), en la atmósfera. Se halla presente también en numerosas estructuras rocosas, en forma de carbonatos, y vuelve a la atmósfera combinado con el CO_2. Las plantas, por medio de la fotosíntesis, obtienen carbohidratos que se transforman luego en grasas mediante procesos metabólicos. El *nitrógeno* abunda en la atmósfera, pero los seres vivos no pueden utilizarlo directamente, salvo las nitrobacterias situadas en los nódulos de las raíces de las leguminosas. Los herbívoros, a partir de estos vegetales, producen proteínas, transmitidas más tarde a los carnívoros. Las tierras de labor se enriquecen en nitrógeno si se añade estiércol o restos del catabolismo de las proteínas (urea y amoniaco).

Entre los elementos sedimentarios cabe citar el *azufre* y el *fósforo*. Las plantas obtienen el primero a partir de la oxidación de ciertas sulfobacterias por putrefacción y lo incorporan luego a sus síntesis proteicas. Los herbívoros lo toman de las plantas, es ingerido luego por los carnívoros y vuelve al suelo a través de los productos catabólicos (heces, orina y putrefacciones). El fósforo, que forma parte de los compuestos transformadores y donadores de alta energía celular, principalmente del A. D. P. (difosfato de adenosina) y del A. T. P. (trifosfato de adenosina), no es muy abundante en la superficie cultivable del suelo y es frecuente que se añada a ésta en forma de abono. Las plantas lo asimilan de este modo y de ahí pasa a los herbívoros y carnívoros, que cierran finalmente el ciclo.

Sucesión y productividad. — Las biocenosis modifican gradualmente algunos de los factores ecológicos de su entorno y éstos influyen a su vez en ellas, alterando su composición específica y produciendo incluso cambios en la estructura misma del ecosistema. Estas interacciones constantes determinan una serie de biocenosis que se suceden hasta alcanzar un punto de equilibrio, llamado *clímax*. Los cambios se deben algunas veces a fenómenos físicos (erosión, sedimentación, etc.), originados en los biotopos por causas ajenas a los organismos que en ellos habitan.

Hay que señalar además el antagonismo existente entre las tendencias naturales de las biocenosis y las exigencias económicas del hombre. Es preciso, por tanto, considerar otro aspecto importante dentro de la dinámica del ecosistema, que se relaciona con la productividad del mismo y su repercusión en la economía de las sociedades humanas.

La productividad primaria de una biocenosis se define como la cantidad de energía luminosa que los organismos autótrofos, es decir, las plantas verdes, son capaces de transformar en energía química. Por consiguiente, un ecosistema será tanto más productivo cuanto mayor sea la masa de materia viva obtenida y menor la pérdida de materia y de energía. Se llega a destruir uno de ellos si su explotación es excesiva, como suele ocurrir habitualmente cuando, por ejemplo, se abusa de la tala de árboles en los bosques o se practica de modo desaprensivo la caza en una zona forestal.

Hombre y ambiente

El *hombre*, desde su aparición en la Tierra, se ha conducido como un animal omnívoro, alimentándose de los vegetales que la Naturaleza le proporcionaba y de los productos de la caza y de la pesca. Tan pronto como abandonó la vida nómada y adoptó la sedentaria, la acción que ejerció en el suelo vegetal adquirió una amplitud hasta entonces desconocida. Del mismo modo y durante varios milenios, hasta llegar a nuestra época, la práctica intensiva de la caza y de la pesca ha sido necesaria para la supervivencia de la especie humana. La consecuencia de estas actividades ha sido la desaparición paulatina, en el transcurso de los tiempos, de varias especies vegetales y animales.

Si a esto se añade la intervención humana, que modifica progresivamente ciertos aspectos del entorno físico, gracias al alto grado de tecnología alcanzado, y provoca una contaminación creciente, secuela inevitable del desarrollo industrial, surge el problema principal que se plantea el ecólogo : las relaciones existentes entre el hombre y el medio ambiente que rodea a éste, cuyo estudio se esbozará a continuación en líneas generales.

Destrucción de la Naturaleza

Entre todos los seres vivos existentes, el hombre se distingue por ser el mayor destructor de la Naturaleza. Su empeño por explotar al máximo y de modo cada vez más intenso los recursos naturales, cosa que los animales nunca han hecho, es la causa esencial del progresivo deterioro de su medio ambiente. Afortunadamente, la inteligencia de que está dotado le ha servido también para paliar los efectos de esta explotación sistemática y encontrar los medios de protección adecuados.

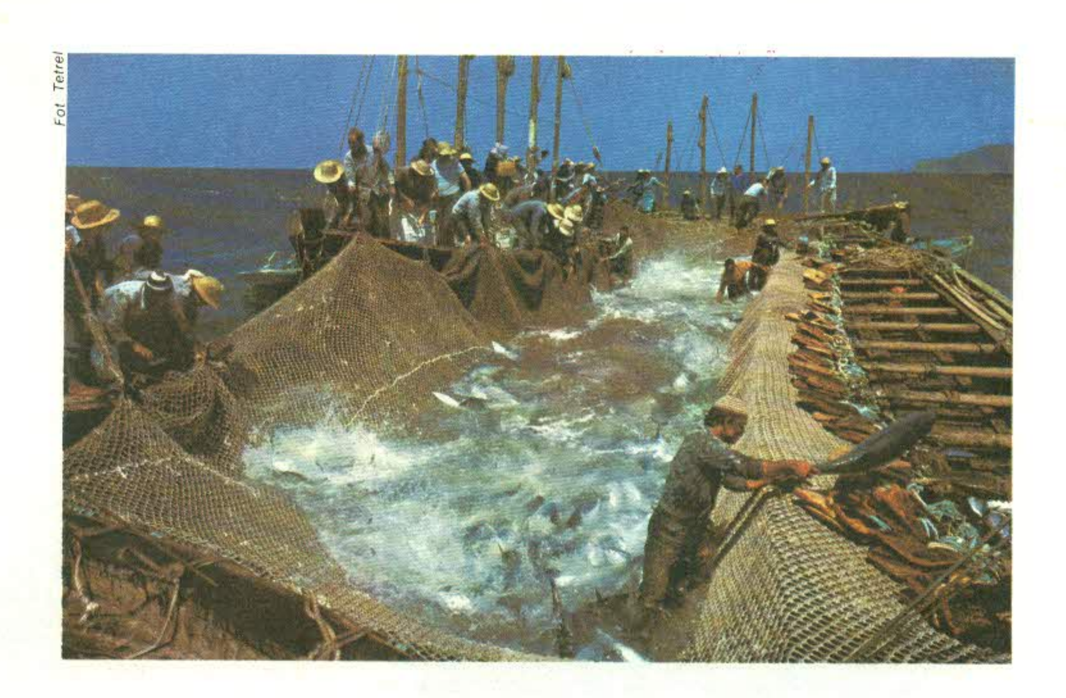
Recursos y población. — La convicción de que los recursos de la Tierra no son ilimitados es cada día más generalizada. El ritmo de explotación aumenta constantemente, gracias al descubrimiento y aplicación de nuevos métodos que hacen posible la supervivencia de una población humana en expansión continua. Pero aun así, esto no impide que el número de hombres subalimentados en la actualidad sea incluso más elevado que en épocas anteriores y cada día surgen nuevas soluciones para obtener el máximo rendimiento de los recursos disponibles, acelerando inevitablemente el agotamiento de los ecosistemas. Esta destrucción de las riquezas de la Tierra, consecuencia inmediata de la explosión demográfica, se ha llevado a cabo en beneficio exclusivo del hombre, pero la supervivencia de éste se halla estrechamente ligada a la de su alimentación y hábitat. Esta explotación irracional, que produce un grave desequilibrio en los ecosistemas, se considera como un peligro real para la especie humana. Se ha hecho necesario, por tanto, la elaboración de nuevos métodos de producción que, respetando las leyes de la Naturaleza, alejen la amenaza de muerte que se cierne sobre todos los seres, animados o no, de la creación.

Destrucción de los bosques. — En tiempos remotos, el hombre no vacilaba en talar un árbol, ya que la densidad humana era escasa y las necesidades de madera harto limitadas. Esto permitía que el bosque recobrase su aspecto inicial al cabo de cierto tiempo. Sin



Fot. H. de Chatillon-Rapho

La práctica intensiva de la caza, necesaria para la supervivencia del hombre, ha traído consigo el exterminio paulatino de varias especies animales.



La pesca intensiva, realizada también por necesidades ineludibles de alimentación, puede provocar la desaparición de muchos pobladores de mares y ríos.

embargo, en la época presente, la demanda de madera es muy elevada y lleva consigo una explotación intensiva de los recursos forestales, sin que el bosque pueda disponer del mínimo período de recuperación. Esta tala abusiva afecta en gran medida a las selvas tropicales, que constituyen probablemente los medios naturales más antiguos del mundo y se hallan en trance de desaparición.

Otros árboles, localizados en suelos bastante pobres, tienen la propiedad de fijar la tierra de tal modo que, si se derriban, ésta sufre erosiones e inundaciones, con consecuencias nefastas para el microclima, y no permite ninguna clase de cultivo.

La introducción de ciertos animales o vegetales exóticos en un determinado medio ha dado lugar a verdaderos desastres ecológicos al ocasionar la destrucción total de la flora y fauna indígenas que no pudieron resistir esa competencia.

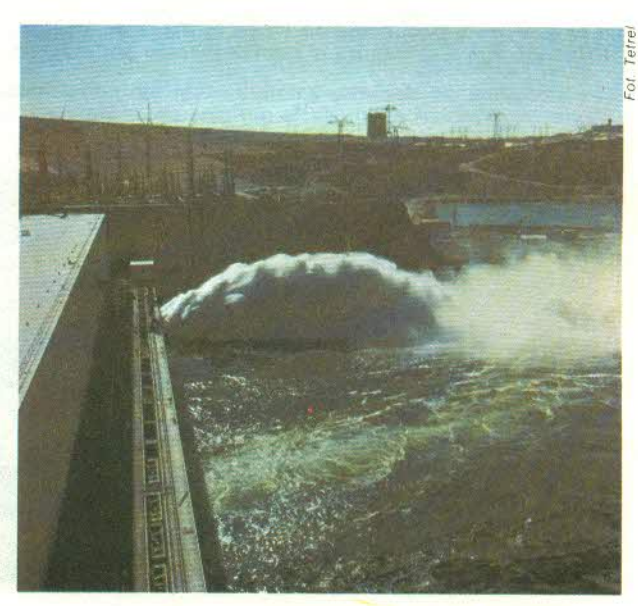
Caza y pesca abusivas. — Por necesidades ineludibles de alimentación, el hombre ha practicado siempre la *caza*, muchas veces de modo excesivo. La desaparición de diversas especies alertó la conciencia de los cazadores y motivó la reglamentación de esta actividad para proteger los recursos cinegéticos.

Muchos animales salvajes, perfectamente adaptados al medio, han sido expulsados del lugar que ocupaban por la explotación ganadera. Otras veces, ecosistemas enteros han sufrido grandes daños o han desaparecido por haberse introducido en ellos animales como la cabra, el asno o el conejo.

La *pesca* intensiva en mares, ríos y lagos ha puesto en peligro la existencia de muchas especies. El quebrantamiento de las normas que regulan las capturas es una amenaza que se cierne de modo particular sobre aquellas zonas y bancos explotados tradicionalmente. Más grave todavía es el deterioro creciente de las aguas continentales, a causa de la contaminación provocada por los residuos orgánicos e industriales que se vierten en ellas.

Obras públicas gigantescas. — La realización de *obras públicas gigantescas*, destinadas a modificar de algún modo el entorno físico, puede tener consecuencias insospechadas en el ecosistema. Baste citar, a título de ejemplo, lo ocurrido tras la construcción en el Nilo, de la presa de Asuán, hoy Sadd al-Alí, situada en el Alto Egipto: sedimentación excesiva aguas arriba, erosión aguas abajo, desaparición de especies animales que efectuaban migraciones a lo largo del río, destrucción y salinización de los deltas, disminución de la productividad en las pesquerías, emigración de animales marinos al suprimirse la barrera de la salinidad, subida del nivel de las aguas freáticas en las vegas cercanas y otros muchos fenómenos más que harían interminable la relación o lista citada anteriormente.

Cabe señalar, sin embargo, que un estudio profundo y exhaustivo, llevado a cabo por un calificado equipo de ecólogos, habría permitido evitar estos inconvenientes.



La construcción en el río Nilo (Alto Egipto) de la presa de Sadd al-Alí o Asuán modificó el ecosistema del entorno.

LA CONTAMINACIÓN

Se denomina *contaminación* a la presencia de humos, gases y vapores tóxicos en la atmósfera o en el agua, así como la de polvos y gérmenes microbianos procedentes de los residuos de la actividad humana.

El problema de la contaminación se plantea en la actualidad de modo más agudo que en épocas anteriores, porque gran parte de los desechos tienen origen inorgánico y no son atacados por las bacterias desintegradoras. El empeño en encontrar una solución se ve dificultado por el incremento demográfico y por el vertiginoso desarrollo industrial.

Contaminación atmosférica. — Las industrias, los aparatos domésticos de calefacción y los motores de explosión liberan en la atmósfera una considerable cantidad de gases y de productos sólidos en forma de finas partículas capaces de mantenerse en suspensión. Las grandes ciudades están cubiertas por una espesa masa grisácea, constituida por humos grasos y pestilentes, que a veces alcanza una altura superior a los 2 000 m. Esta capa absorbe gran parte de la radiación solar y filtra casi todos los rayos ultravioleta.

La combustión del carbón y del petróleo lleva consigo el aumento del índice de anhídrido carbónico en el aire, que conduce a un recalentamiento de la atmósfera y de los mares y tiene repercusiones profundas en el equilibrio químico de la biosfera. Se produce también una cantidad apreciable de monóxido de carbono, sustancia altamente tóxica para los seres vivos. Otros contaminantes de la atmósfera son los derivados del azufre, diversos aldehídos y el hollín de las chimeneas.

Estos productos penetran en las vías respiratorias del hombre y de los animales y ocasionan graves irritaciones en las mismas. No suelen ser causa directa de mortandad, pero su acción agrava males ya existentes e incluso algunos de ellos se consideran cancerígenos.

La coincidencia en un área determinada de un espeso banco de niebla y de humos industriales origina el llamado *smog*, responsable de irritaciones y trastornos en las membranas conjuntivas y causante de agravación en las enfermedades broncopulmonares.

Fot. Algar



Las grandes urbes, como se ve en la Plaza de Neptuno (Madrid), son víctimas de la contaminación atmosférica.

Los productos de desecho existentes en las poblaciones afectan también al equilibrio químico de la biosfera.

Fot. Algar



Contaminación de las aguas continentales. — Los ríos y los lagos se encuentran particularmente contaminados porque en ellos se vierten los productos de desecho procedentes de los núcleos urbanos y de las instalaciones industriales. El elevado grado de urbanización a que se ha llegado en la actualidad y las exigencias propias del desarrollo tecnológico contemporáneo han agravado de modo considerable la situación en extensas zonas de las naciones más avanzadas. Muchos cursos de agua, que antes abundaban en salmones y truchas, han perdido ya la casi totalidad de su fauna a causa de los desperdicios que se han ido acumulando en sus aguas. Las distintas industrias producen diferentes clases de residuos, todos ellos muy nocivos, como los hidrocarburos, que forman una película en la superficie del agua e impiden la difusión del oxígeno, los detergentes sintéticos, que inhiben la acción de las bacterias desintegradoras, los detergentes aniónicos, perjudiciales para peces y plantas, incluso en pequeñas proporciones, los fenoles, las sales de cobre y los cianuros, que son venenos de mayor o menor toxicidad, y otras sales, como las de cinc, plomo o níquel, que tienen propiedades corrosivas y cambian el pH de las aguas, modificando de este modo el equilibrio de los microorganismos.

La fauna dulceacuícola no es la única víctima de la contaminación, y el hombre resulta también dañado ya que la mayor parte de la población se abastece de agua de los ríos, que ha de sufrir un proceso de depuración y tratamiento químico, tanto más complejo y costoso cuanto mayor sea el grado de contaminación.

Las exigencias sanitarias requieren el mayor rigor en lo que afecta a las aguas destinadas al consumo de la población y el exacto cumplimiento por todos de las normas establecidas para la preservación de la pureza de ríos y manantiales, como, por ejemplo, la obligación que tienen las industrias de sólo verter residuos que hayan pasado previamente por una estación depuradora.

Contaminación marina. — Los mares, al recibir el agua de los ríos, sufren las consecuencias de la contaminación de éstos, y el plancton que ingiere elementos tóxicos puede transmitirlos a los peces, provocando de este modo una disminución en la producción pesquera en las zonas costeras y más particularmente en los estuarios.

La contaminación más grave del mar es la originada por los crudos petrolíferos cuando tienen accidentes los barcos que los transportan. Esto se produce con bastante frecuencia y sus efectos han sido catastróficos desde que surcan los océanos grandes superpetroleros con un desplazamiento bruto de más de 500 mil toneladas. Los hidrocarburos, al no ser miscibles con el agua, flotan en ella y forman una capa de espesor variable que se mueve a merced de las corrientes marinas. Parte del producto

se disuelve y el resto acaba contaminando las playas, destruyendo la fauna costera e inutilizando los criaderos de moluscos. Las aves se ven afectadas también ya que, al posarse sobre la superficie negruzca, se empapan de petróleo, pierden las propiedades caloríﬁfugas e hidrófugas de su plumaje y mueren, si han ingerido el tóxico.

La lucha contra la contaminación causada por el petróleo presenta gran dificultad ya que el uso de detergentes tiene casi tantos inconvenientes como el propio contaminante y sólo cabe, en tanto no se encuentre una solución técnica adecuada, extremar las precauciones para evitar la repetición de estos desastres ecológicos.

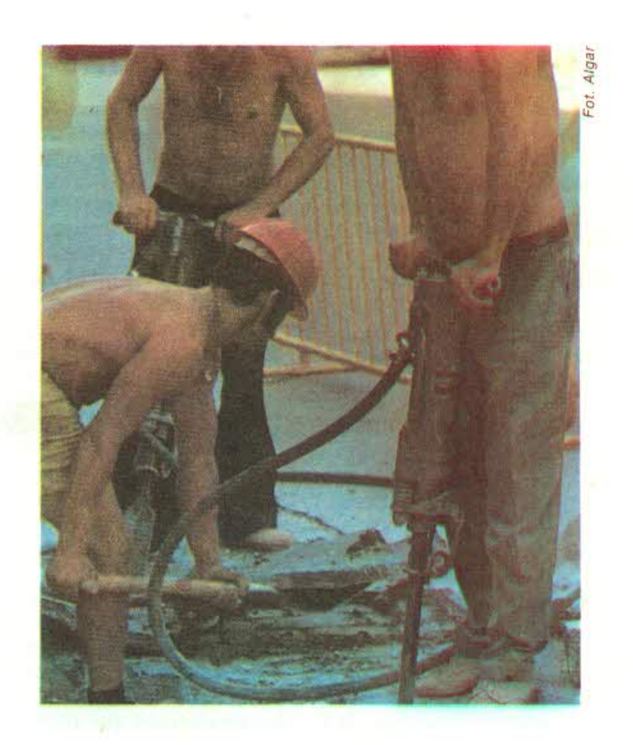
La contaminación marina por mercurio, aunque más localizada, reviste asimismo suma gravedad. Bastan pequeñas cantidades de este elemento arrojadas al mar para que las especies marinas lo asimilen fácilmente. A través de las cadenas alimentarias, el tóxico puede llegar al hombre, provocando graves trastornos motores, casos de idiocia en los recién nacidos y, a veces, la muerte. En 1953 ocurrió la primera intoxicación por mercurio en el Japón, y ésta se volvió a producir en 1964. La opinión mundial levantó su indignada voz para lamentar estos tristes sucesos y los organismos internacionales elaboraron una estricta reglamentación que prohibía verter residuos mercuriales en el mar.

Contaminación radiactiva. — Desde que el hombre utiliza la fisión atómica como fuente de energía, una nueva y grave amenaza de contaminación se cierne sobre toda la biosfera. Las partículas radiactivas pueden liberarse de tres modos : por la explosión nuclear, por la utilización del agua como elemento refrigerante en un reactor atómico y a través de los residuos radiactivos que no hayan sido eliminados en condiciones adecuadas.

Las pruebas nucleares se siguen realizando en la actualidad, a pesar de las censuras de que son objeto, y, aunque se verifiquen bajo tierra o en regiones desérticas, no desaparece totalmente el peligro que implican. El agua de refrigeración de las centrales sería fuente de contaminación sólo en el caso de accidente material. La radiactividad ambiental, sin embargo, puede aumentar durante las operaciones de limpieza del reactor o por expulsión de algún radioelemento, como el tritio. Los desechos radiactivos han de colocarse en recipientes herméticos e introducirse en cavidades subterráneas o arrojarse en las partes más profundas de las fosas oceánicas. Estas medidas no suprimen completamente el riesgo, ya que, según algunos científicos, las corrientes marinas, incluso las más tranquilas del fondo, son capaces de provocar en dichos recipientes escapes radiactivos, que se transmitirán por la circulación del agua o a través de los seres vivientes y de complejas cadenas alimentarias.

El ruido. — Aunque de diferente naturaleza que las contaminaciones anteriormente reseñadas, el *ruido*, particularmente intenso en las aglomeraciones urbanas e industriales, suele incluirse entre las agresiones que tienden a perturbar el equilibrio psicológico del hombre. Las estadísticas muestran que el 25 % de las neurosis se deben a él y que un 20 % de la población internada en hospitales psiquiátricos es víctima de este azote de la vida moderna.

El ruido se define como el conjunto de vibraciones sonoras que hieren el tímpano y sus efectos fisiológicos están en función de la intensidad, medida en decibelios. Para hacerse una idea de lo que supone esta unidad de intensidad sonora, se indicará que 40 dB corresponden aproximadamente a una conversación en voz baja, 75 dB a un receptor de radio o televisión a todo volumen, 90 dB al arranque de un camión, 115 dB a una moto con escape libre y 125 dB al despegue de un avión. La percepción constante de ruidos hasta el límite de unos 100 dB constituye un importante factor de fatiga física. Por encima de este nivel se sitúa ya el umbral del dolor, con posibilidad de producirse lesiones de oído. Más allá de los 150 dB existe el peligro de traumatismos de carácter irreversible.



El ruido producido por los martillos neumáticos es una de las múltiples causas de contaminación acústica.

La lucha contra el ruido se basa en la elaboración de una normativa adecuada que ha de respetarse sin fallo. Las autoridades deben exigir más rigurosamente su cumplimiento y no tolerar las señales sonoras de los vehículos ni el escape libre de las motocicletas, prohibidos en todas las ciudades. Si no se observan los preceptos dictados, la población, sometida a un nivel de molestias auditivas, que con frecuencia sobrepasa el límite de lo soportable, correrá un serio peligro. Otra protección necesaria contra este mal sería el aislamiento sonoro en las viviendas colectivas, como se hace en los países más avanzados. Existen para ello soluciones técnicas casi perfectas, pero tropiezan con el desmedido afán de lucro de los constructores que no están dispuestos a pagar el alto precio de la insonorización.

El ruido plantea un problema a causa de las características mismas de la civilización actual y del progreso tecnológico que se acelera sin cesar. Alcanza en las poblaciones un nivel que sobrepasa indiscutiblemente los 80 dB y produce un cansancio muy perjudicial para el ser humano. Se tiene que luchar contra este mal mediante una reglamentación que permita suprimirlo en la medida de lo posible, porque, en el siglo XX, todo es ruidoso en la vida diaria, y los aparatos que provocan esta molestia (tocadiscos, receptores de radio, televisores, motocicletas, automóviles, aviones, electrodomésticos, máquinas, etc.) son altamente preciados por una sociedad que ha convertido el ruido en tóxico social, como puedan serlo el alcohol o el tabaco. De este modo, el hombre, al no saber soportar el silencio, se está encaminando a pasos agigantados hacia su propria destrucción.

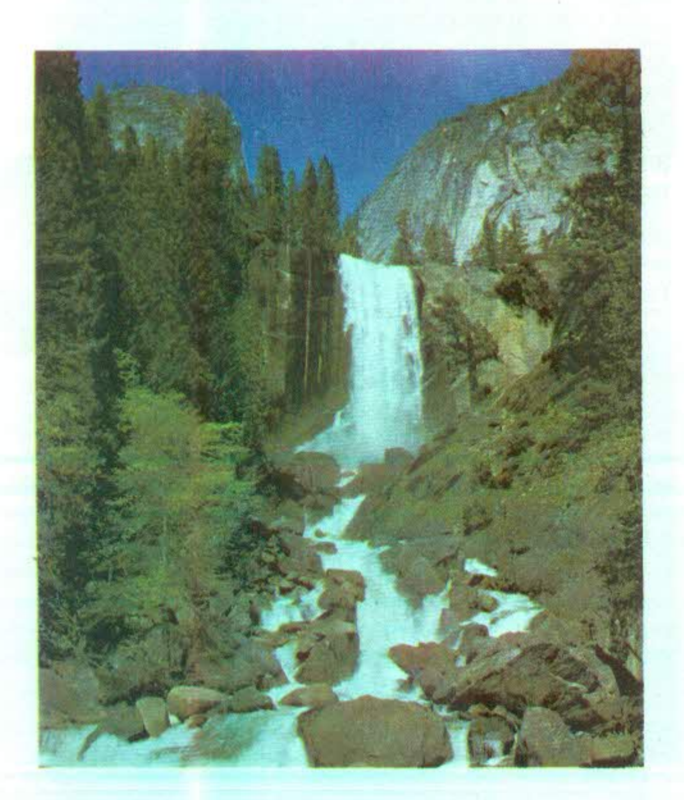
Protección de la Naturaleza

El hombre no sintió la necesidad de preservar la Naturaleza hasta finales del siglo XIX, época en que se crearon las primeras reservas en los Estados Unidos en los parques nacionales de Yosemite (California) y de Yellowstone (Wyoming).

Defensa de la caza. — La conservación a nivel local de la caza es, sin embargo, de tradición más antigua. Se sabe que los habitantes de las islas Feroe (Dinamarca) y de Islandia explotaban de modo racional las aves marinas, impidiendo de este modo la extinción de las especies. En América del Sur, los emperadores incas gozaban exclusivamente del derecho a usar prendas de abrigo confeccionadas con la piel de las vicuñas.

Dados los estragos producidos en la fauna (desaparición de osos, leones, lobos, bisontes, mastodontes, etc.), el propio cazador se convirtió en protector de la Naturaleza y de esta forma se aseguró, mediante el ejercicio moderado de su actividad, la existencia de una caza siempre abundante. Las primeras reservas cinegéticas fueron patrocinadas por los reyes, pero en la actualidad hay una conciencia colectiva en defensa de la Naturaleza, y los que practican este deporte aún desempeñan un importante papel en la conservación de la caza, oponiéndose a la acción de los desaprensivos que pretenden actuar en épocas de veda.

El movimiento de protección de la Naturaleza se desarrolló especialmente a finales del siglo XIX, sobre todo en los territorios del Imperio Británico (Canadá, Australia y África del Sur), y se han creado organismos internacionales que velan por la preservación de ésta y de sus recursos, con secciones delegadas en numerosos países. Uno de ellos es la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (U. I. C. N.), en Suiza.



Proteccción del medio. — Cada vez son más frecuentes las asociaciones de ciudadanos que, a nivel local, regional o nacional, se preocupan particularmente por la conservación del medio ambiente y llevan a cabo una ardua labor para proteger la naturaleza cuando la agricultura, la industria y los servicios encargados del urbanismo pretenden, con la realización de distintas obras, modificar los elementos esenciales del entorno.

En todas partes del mundo, el hombre ha comprendido que es necesario salvar para las futuras generaciones numerosas especies vegetales (unas 20 000) y animales (unas 1 000) que se hallan actualmente en peligro de extinción. Intenta asimismo preservar paisajes enteros, cuya desaparición llevaría consigo una ruptura del equilibrio ecológico en grandes zonas de la superficie terrestre. La Conferencia sobre el Medio Ambiente celebrada en Estocolmo en 1972 dio fe de la pujanza adquirida por el movimiento en pro de la Naturaleza, lo mismo que la posterior creación del Programa de las Naciones Unidas en favor del Medio Ambiente, cuya sede se encuentra en Kenia (África).

A MODO DE CONCLUSIÓN

Esbozada esta panorámica de la Ecología, cabe preguntarse cuáles serían las soluciones adecuadas para una mejor protección y conservación de la Naturaleza y para un uso más racional del medio ambiente por el hombre. A este respecto, el repertorio de ideas o planes es muy amplio y va desde los planteamientos drásticos, soluciones radicales y prohibiciones absolutas que algunos proponen hasta los criterios diametralmente opuestos de otros, quienes consideran la contaminación como un hecho inevitable y una servidumbre más impuesta por las nuevas tecnologías agrícolas e industriales. Hay que admitir que sin el uso de los pesticidas, por ejemplo, las cosechas obtenidas serían insuficientes para una población en constante aumento y que, sin las nuevas tecnologías industriales, incluyendo la petroquímica y los motores de combustión, la humanidad se vería obligada a llevar un modo de vida similar al de la Edad Media. Tanto en un caso como en otro existen factores de contaminación y de alteración del equilibrio ecológico. Pero a la pregunta de si el hombre puede prescindir de estos progresos de las técnicas habría que responder negativamente.

Según lo expuesto, los planteamientos ecológicos parten de unas determinadas premisas económicas, sociales y políticas. Si se propugnara la prohibición pura y simple de las nuevas tecnologías, en razón de la contaminación que éstas provocan, ello supondría un estancamiento y un inmovilismo de consecuencias fácilmente previsibles. La solución lógica parece hallarse en el control de los métodos de producción por parte del Estado o por un conjunto de organismos respaldados por los poderes públicos. En este aspecto, la Ecología depende de la política, y la crisis del medio ambiente va emparejada con la de los sistemas económicos, sociales y políticos.

La elaboración de una normativa legal podría reducir al máximo, acaso eliminar por completo, los efectos nocivos de las tecnologías contaminantes. El cumplimiento exacto de lo legislado exigiría el esfuerzo de toda la sociedad, que, en tanto que conciencia colectiva, debe resolver los graves problemas ecológicos y hacer posible la salvación de la Naturaleza, ya muy deteriorada en ciertas concentraciones industriales, permitiendo alejar la amenaza de destrucción que se cierne sobre el mundo.

En la vertiente occidental de la Sierra Nevada y en el valle del río Merced (California) se encuentra el Parque Nacional de Yosemite, una de las primeras reservas naturales.

Indice alfabético

Indice alfabético

A

abejas, 703
abióticos (Componentes), 768
acarinos, 705
acético (Ácido), 586
acetileno, 576
acetona, 584
ácido, 516
acodo, 740
Acosta (José de), 630
acranios, 706
acrílico (Ácido), 586
acromatopsia, 645
acryloid, 586
acuícolas, 762
adiposo (Tejido), 655
aerícolas, 762
aglandulares (Hormonas), 679
agnatos, 708
Agrícola (George), 506, 610
agua, 525, 634
agua oxigenada, 527
agua pesada, 527
aire atmosférico, 533
Alberto Magno (San), 506
albinismo, 646
albuminoides, 589
alcaloides, 607
alcaptonuria, 646
alcoholes, 579-581
alcohol etílico, 581
alcohol metílico, 580
aldehídos, 582, 601
aleaciones, 548
algas, 747
algas cianofitas, 638
algas rojas, 748
alicíclicos (Compuestos), 593 594
alifáticos (Compuestos), 573
almidón, 591
alquimistas, 506
alumbres, 558
alúmina, 558
aluminio, 557
Álvarez Chanca (Diego), 630
ameba, 687
amidas, 587
amidas metálicas, 535
aminas, 588
aminoácidos, 589
aminofenoles, 600
amoniaco, 534
amonio (Radical), 552
anafase, 638
analogía, 681
anatomía vegetal, 736-738
androceo, 741
anélidos, 695
anémona, 690
anfiartrosis, 670
anfibios, 712-714
anfíboles, 616
angiospermas, 751
anguila, 712
animales (Clasificación de los), 685
antibióticos, 608
antimonio, 541
antraceno, 604
antracita, 620
antraquinona, 604
antropología, 729-732
anuros, 713
arácnidos, 704
araña, 704
árbol, 753
arborícolas, 762
arcaica (Era), 626
Arduino (Giovanni), 625
argón, 534
arilaminas, 600
Aristóteles, 630
Arnau de Vilanova, 506
aromáticos (Compuestos), 595, 596
Arqueozoica (Era), 626
Arrhenius (Teoría de), 516
arsenamina, 540
arsénico, 540
arteria, 665
articulaciones, 670
artrópodos, 696-705
ascaris lumbricoides, 692
ascomicetos, 745
asfalto, 620
asimetría, 682
asquelmintos, 692
astato, 523
átomo-gramo, 510
Australopithecus, 629
aves, 718-721
Avogadro, 506
Avogadro (Número de), 510
Avogadro (Principio de), 508
azufre, 618, 527
azurita, 618

B

Bacon (Roger), 506
bacterias, 638, 745
bario, 556
baritina, 619
base, 517
basidiomicetos, 745
Bauhin (Gaspard), 630
bauxita, 619
Belon (Pierre), 630
bencénico (Anillo), 595
bencénico (Núcleo), 595, 598
benzoico (Ácido), 602
Bergman (Torbern Olof), 562
berilio, 556
berilo, 616
Bernard (Claude), 631
Berthelot (Marcelin), 506
Berthelot (Principio de), 515
Berzelius (Jacob), 506
bicarbonato sódico, 550
Bichat (Xavier), 631
biocenosis, 756
biogenésicos (Elementos), 632
biogénesis, 672
biogeografía, 756-764
biología, 630-651
biometría, 684
bioquímica, 632-635
biosfera, 756
bióticos (Componentes), 768
bióticos (Factores), 759
biotopo, 756
bismuto, 570
blenda, 618
bogavante, 697
Bonnet (Charles), 631
boratos, 545
bórax, 549
boro, 545
botánica, 733-754
Boyle (Robert), 506
Brandt (Georg), 506
Brandt (Hennig), 506
briofitas, 748
bromo, 522
bromoformo, 579
Brongniart (Alexandre), 610
Bronsted (Johannes Nicolaus), 517
Brown (Robert), 631
Buffon, 610, 631

C

cacerola de las Molucas, 704
cadena alimentaria, 760, 769
cadmio, 567
calamar, 695
cal apagada, 554
calcio, 554
calcita, 619
calcopirita, 618
Caledoniano (Ciclo), 627
cáliz, 741
calorías, 662
cal viva, 554
cangrejo de río, 697
caracol de huerta, 694
carbonatos, 543
carbones naturales, 542
carbónico (Ácido), 543
carbónico (Anhídrido), 543
carbono, 541
carbonoideos, 541-545
carburos, 543
carnívoros, 723
cartilaginoso (Tejido), 655
casiterita, 619
catálisis química, 513
catalizadores, 634
caucho, 577
Cavanilles (Antonio José), 630
Cavendish (Henry), 506
cavernícolas, 762
cefalocordados, 707
cefalópodos, 694
celentéreos, 690, 691
célula, 636, 733
celulares (Membranas), 637
celulosa, 591
cemento, 554
Cenozoica (Era), 628
cerebro, 675
cerio, 559
Cesalpino (Andrea), 630
cesio, 552
cetonas, 582, 602
cianhídrico (Ácido), 588
cianofíceas, 745
ciclo ovárico, 673
ciclóstomos, 708
ciempiés, 704
ciencias naturales, 609-774
cigoto, 648
cilios, 668
cinabrio, 568
circonio, 560
circulación sanguínea, 665, 666
citología, 636-640, 733
citoplasma, 637
climaterio, 674
clorhídrico (Ácido), 521
cloro, 520
cloroficeas, 747
cloroformo, 578
cloroplastos, 739
cloruro amónico, 552
cobalto, 564
cobre, 565, 618
cocodrilo, 717
colénquima, 735
coleópteros, 702
colonial (Asociación), 765
comensalismo, 766
comunidades ecológicas, 767
condrioictios, 709
conectivo (Sistema), 641
coníferas, 751
conjuntivo (Tejido), 655
contaminación, 772, 773
contráctil (Sistema), 641
corazón, 665, 666
cordados, 706-728
corindón, 616
cormofitas, 735
corola, 741
craniotas, 708
Cretácico (Período), 627
criptógamas, 745-749
criptón, 534
cristalofísica, 614
cristalografía, 613-615
cristalografía geométrica, 614
cristaloquímica, 613
cromatos, 561
cromo, 561
crustáceos, 697
cuarzo, 617
Cuaternaria (Era), 629
cuprita, 618
Cuvier (Georges), 610, 631
chimpancé, 728

D

daltonismo, 645
Darwin (Charles), 631, 650, 683, 730
Daubenton (Louis), 631
Davy (Humphry), 506
desdentados, 723
De Vries (Hugo), 650
diácidos, 586
diamante, 541, 619
diazoicos, 600
diazonio (Sales de), 600
diclorodifluormetano, 579
dicotiledóneas, 751
digestión, 661
dimetilcetona, 584
diolefinas, 577
dióxido de carbono, 543
dióxido de nitrógeno, 536
dípteros, 702
disacáridos, 632
Döbereiner (Johann Wolfgang), 511
Dujardin (Félix), 631

E

ebulloscopia, 511

ecología, 755-774
ecosistema, 756, 768-770
edáficos (Factores), 758
efemerópteros, 701
electrólisis, 516
elementos (Clasificación periódica de los), 511, 512
Elhúyar (Fausto de), 506, 562
embriología, 652-654
enzimas, 634
Eoceno (Período), 628
epidérmico (Tejido), 734
epilepsia, 646
epirogénicos (Movimientos), 622
epitelial (Sistema), 641
epitelial (Tejido), 654
equinodermos, 692
equisetíneas, 749
eritrocitos, 667
esclerénquima, 735
escorpión, 705
especie, 684
espermafitas, 750
espermatogénesis, 672
esqueleto, 669
estaca, 740
estatal (Asociación), 766
estegocéfalos, 713
ésteres, 586, 598
esteroles, 594
estibamina, 541
estomas, 734
estratigrafía, 625
estrella de mar, 693
estroncio, 555
etanodioico, 586
etanoico, 586
etanol, 581
eteno, 575
éter etílico, 582
éteres, 581, 598
etilenglicol, 581
etileno, 575
euglena, 687
euplanaria, 691
európidos, 732
Eustachi (Bartolomeo), 630
evolucionismo, 650
excreción, 680
excretores (Tejidos), 735

F

facoquero, 767
factor Rh, 647
fagocitosis, 667
fanerógamas, 750-754
fasciola hepática, 691
fauna acuática, 762
fauna terrestre, 761
feldespatos, 616
fenol, 598
feofíceas, 747
ficomicetos, 745
filicíneas, 749
filonianos (Minerales), 618
fisiología, 658-681
fisiología celular, 638
fisiología vegetal, 738-740
fitogeografía, 763, 764
flagelos, 668
flor, 741
flúor, 519
fluorhídrico (Ácido), 519
fluorita, 619
formaldehído, 584
fórmico (Ácido), 585
fosfatos, 539
fosfatos de sodio, 549
fosfitos, 539
fosforita, 617
fósforo, 537
fosfuros de hidrógeno, 538
fotosíntesis, 739
fotosintético (Proceso), 640
fototropismo, 740
fructosa, 591
fruto, 743
ftálico (Ácido), 603

G

gacelas, 767
galena, 619
Galeno (Claudio), 630
galio, 568
gallina común, 720
gametos, 674
garrapata, 705
gases nobles, 534
gasterópodos, 694
gastrulación, 653
gato, 724
gato común, 723
Gay-Lussac (Ley de), 508
Gay-Lussac (Louis-Joseph), 506
genes, 642
genética, 642-647
geodinámica, 621-623
Geoffroy Saint-Hilaire (Étienne), 631, 650
geología, 610-629
geología histórica, 624-629
geotropismo, 740
germanio, 589
germinación del polen, 743
Gesner (Conrad), 630
gimnospermas, 750
gineceo, 741
glandular (Tejido), 655
Glauber (J. Rudolf), 506
glicerina, 581
gliptogénesis, 621
glúcidos, 632
glucosa, 590
gorila, 728
grafito, 542
granates, 616
grasas, 633
grasos (Ácidos), 585
gregaria (Asociación), 765
Grew (Nehemiah), 631
Grignard (Reactivos de), 592
grillos, 701
guisante, 754
Guldberg y Waage (Ley de), 514
gusano de seda, 700

H

hafnio, 560
halógenos, 519-523
haluros, 523
Harvey (William), 630
helio, 534
hematosis, 664
hemeralopia, 646
hemípteros, 701
hemofilia, 646
hepáticas, 748
Herciniano (Ciclo), 627
herencia, 642-647, 683
hermafroditismo, 648
Hernández (Francisco), 630
Herodoto, 610
heterocíclicos (Compuestos), 606
hidracina, 535
hidratos de carbono, 590, 591
hidrazoico (Ácido), 535
hidrocarburos (Derivados halogenados de los), 577-579
hidrocarburos bencénicos, 596-598
hidrocarburos no saturados, 574
hidrocarburos saturados, 573
hidrógeno, 518
hidroxilamina, 535
hierro, 563, 618
hígado, 660
himenópteros, 703
Hipócrates, 630
hipofisarias (Hormonas), 679
hipofosfitos, 538
hipogeos, 762
histología, 641, 654-657
hoja, 738
Holoceno (Período), 629
hombre fósil, 629, 730
homeostasis, 681
homología, 681
Homo sapiens, 730
hongos, 745, 746
Hooke (Robert), 631
hormonas, 608, 635, 674, 678
Houssay (Bernardo Alberto), 631
hulla, 620
Huroniano (Plegamiento), 626
Hutton (James), 610
hydra, 690

I

idiocia mongoloide, 646
imidas metálicas, 535
indio, 568
inflorescencia, 742
injerto, 740
inquilinismo, 766
insectos, 698
intestino delgado, 660
intestino grueso, 660
invertebrados, 686-705
iridio, 564
isomería, 572
isomerización, 575
isópteros, 701
isostasia, 622

J

Jurásico (Período), 627
Jussieu (Antoine-Laurent de), 631
Jussieu (Bernard de), 631

K

Kekulé (August), 572

L

Lagasca (Mariano), 630
Lamarck (Jean-Baptiste), 631, 650, 683
langosta, 699
lantánidos, 558
Lavoisier (Antoine Laurent de), 631
Leeuwenhoek (Anton van), 631
leñoso (Tejido), 735
lepidópteros, 702
leucocitos, 667
leucoselenia, 689
licopodíneas, 749
lignito, 620
limbo, 738
limícolas, 762
limonita, 618
linfático (Sistema), 668
Linneo (Carl von), 630, 684, 729
lípidos, 632
lipoides, 633
líquenes, 748
litio, 552
litogénesis, 621
lombriz de tierra, 695
Lyell (Charles), 610, 611

M

maduración, 672
magnesia, 553
magnesio, 553
magnetita, 618
malaquita, 618
Malpighi (Marcello), 631
mamíferos, 722-728
mandibulados, 696, 708
manganeso, 562
mantis religiosa, 701
manto, 612
maremotos, 623
mariposas, 702
masas atómicas, 509-511
masas moleculares, 510
masticación, 661
medusa, 691
meiosis, 672, 673
mejillón, 694
Mendel (Johann Gregor), 631, 642
Mendel (Leyes de), 642
Mendeleiev (Dimitri), 506, 511
mercurio, 568
meristemos, 734
mero, 712
merostomas, 704
mesodermo, 653
Mesozoica (Era), 627
mesozoos, 688
metabolismo, 638, 661
metafase, 638
metagénesis, 647
metales, 546, 547
metales alcalinos, 548-552
metales alcalinotérreos, 553-556
metales térreos, 557-559
metalurgia, 547, 548
metanal, 584
metano, 574
metanoico, 585
metanol, 580
metazoos, 688-696
Meyer (Lothar), 511
micas, 616
milpiés, 704
mineralogía, 615-620
Mioceno (Período), 628
miriápodos, 703
mitosis, 639
Mociño (José Mariano), 630
Mohl (Hugo von), 631
molécula-gramo, 510
molibdeno, 561
moluscos, 693-695
mongólidos, 732
mono, 728
monocotiledóneas, 754
monohibridismo, 642
monosacáridos, 590, 632
monóxido de dinitrógeno, 535
monóxido de nitrógeno, 535
morfología, 681, 682, 735
morfología celular (Estudio de la), 636
morteros, 554
moscas, 702
Moseley (Gwyn-Jeffreys), 511
Moseley (Ley de), 511
movimiento (Fisiología del), 668
murciélago, 723
muscular, (Sistema), 670
muscular (Tejido), 656
musgos, 748
mutaciones, 643
Mutis (José Celestino), 630
mutualismo, 766

N

naftaleno, 603
naftilaminas, 603
naftoles, 603
négridos, 732
nematelmintos, 692
neón, 534
Neozoica (Era), 629
nervioso (Sistema), 641, 657, 675
nervioso (Tejido), 656
Newlands (John Alexander Reina), 511
nicho ecológico, 767
nife, 621
niobio, 560
níquel, 564
nitratina, 617
nitratos, 537
nitrhídrico (Ácido), 535
nítrico (Ácido), 536
nitrilos, 588
nitro, 617
nitrogenados (Compuestos), 588-590
nitrógeno, 533
nitroglicerina, 581
nitruros metálicos, 535
nucleicos (Ácidos), 633
núcleo celular, 637
nutrición, 658

O

Ochoa (Severo), 631
odonatos, 701
ofidios, 716
ojo, 677
olefinas, 574
oleico (Ácido), 586
olfatogustativos (Órganos), 676
Oligoceno (Período), 628
oligosacáridos, 591
onicóforos, 696
Oreopithecus, 629
orgánicos (Ácidos), 584-586
organogénesis, 652-654
órgano genital femenino, 672

órgano genital masculino, 672
organometálicos (Derivados), 592
orina negra, 646
oro, 566, 619
orogenicos (Movimientos), 622
ortópteros, 700
óseo (Tejido), 655
osmio, 565
osteoictios, 709
ostracodermos, 708
ovogénesis, 672
oxálico (Ácido), 586
oxicloruro de fósforo, 540
oxidación, 524
oxigeno, 524
ozono, 525

P

paladio, 565
Paleoceno (Período), 628
paleontologia, 625
Paleozoica (Era), 627
Palissy (Bernard), 506
páncreas, 660
pancreáticas (Hormonas), 679
Paracelso, 506
paramecio, 687
parasitismo, 766
paratiroideas (Hormonas), 679
parénquimas, 734
partenogénesis, 648
Pasteur (Louis), 631
patata, 754
peces, 709-712
peciolo, 738
pechblenda, 619
pentacloruro de fósforo, 540
pentóxido de dinitrógeno, 536
petróleo, 620
pino, 751
pino silvestre, 750
pirita, 618
pirolusita, 617
piroxenos, 616
Pithecanthropus erectus, 629
placodermos, 709
plasma, 667
plasmodio, 687
plata, 566, 619
platelmintos, 691
platino, 564, 619
Pleistoceno (Período), 629
plexiglás, 586
Plinio el Viejo, 610
Plioceno (Período), 628
plomo, 569
pluma, 720
polarización de la luz, 614
polifenoles, 599
polimerización, 575
polinización, 743
polisacáridos, 591, 632
polonio, 570
poríferos, 689
potasio, 550
Primaria (Era), 627
primates, 728
profase, 638
propanona, 584
propioceptores, 678
protactinio, 561
proteidos, 590
proteinas, 589, 590, 633
prótidos, 633
protofitas, 735, 745
protozoos, 686-688
pteridofitas, 749
pubertad, 674
pulmones, 664

Q

quelicerados, 704
quelonios, 715
química, 506-608
química general, 507-518
química inorgánica, 518-570
química orgánica, 571-608
quinonas, 601

R

radio, 556
radón, 534
raiz, 736
Ramón y Cajal (Santiago), 631
rana común, 713
Raoul (François), 506
Raoult (Ley de), 511
reacción química, 513
Réaumur, 631
Redi (Francesco), 631
redox (Reacciones), 640
reducción, 524
regeneración, 647
renio, 563
reproducción, 647, 648
reproducción asexual, 647
reproducción sexual, 647
reproducción vegetal, 740-744
reptiles, 715-717
respiración, 640, 662
Richter (Ley de), 508
riñón, 681
roble, 752
rocas orgánicas, 620
rodio, 565
rodofíceas, 748
roedores, 724
Rondelet (Guillaume), 630
rubidio, 551
ruido, 773
Ruiz (Hipólito), 630
rumiantes, 726, 727
rutenio, 565

S

salamandra, 713
sal de Glauber, 549
sales amoniacales, 552
sales minerales, 634
sales oxigenadas, 549
sal gema, 617
sangre, 667
sanguijuela, 696
sapo, 713
savia, 739
Scheele (Carl Wilhelm), 562
Schkiden (Matthias Jakob), 631
Schwann (Theodor), 631
Secundaria (Era), 627
selenio, 532
semicordados, 707
semilla, 744
serpientes, 716
Servet (Miguel), 630
seudópodos, 668
sexuales (Hormonas), 679
sial, 621
siderita, 618
silicatos, 545, 616
sílice, 544
silícicos (Ácidos), 544
silicio, 543
siliconas, 545
silvina, 617
sima, 621
simbiosis, 766
simetria, 682
sinapsis, 676
sinartrosis, 670
sísmicos (Movimientos), 622
sistema planetario solar, 610
sistemas cristalinos, 614
Smith (William), 610
sódico (Carbonato), 550
sódico (Cloruro), 549
sódico (Nitrato), 549
sódico (Sulfato), 549
sodio, 548
Spallanzani (Lazzaro), 631
squamata, 716
suberoso (Tejido), 734
sulfatos, 531
sulfhídrico (Ácido), 532
sulfitos, 530
sulfúrico (Ácido), 530
sulfúrico (Anhídrido), 530
sulfuroso (Anhídrido), 529
suprarrenales (Hormonas), 679

T

táctiles (Órganos), 676
tactismos, 740
talio, 568
talofitas, 735, 745
tallo, 737
tántalo, 560
tecnecio, 563
tejidos animales, 641
tejidos vegetales, 734
telofase, 638
telurio, 532
tenia solium, 691
Teofrasto, 630
Terciaria (Era), 628
termoquímica, 514
terpénicos (Compuestos), 593
terremoto, 623
terrícolas, 761
tetracloruro de carbono, 579
tiburón, 709
Tierra (Composición de la), 612
tierras raras, 558
tiosulfatos, 531
tiroideas (Hormonas), 679
tisanuros, 700
titanio, 559
topacio, 616
torio, 560
tortuga, 716
Triásico (Período), 627
triclorofluormetano, 579
tricloruro de fósforo, 540
trigo, 754
trióxido de dinitrógeno, 536
triquina, 692
tritón, 713
trombocitos, 667
tropismos, 740
tsunamis, 623
tungsteno, 562
tunicados, 707
turba, 620
turmalinas, 616

U

ungulados, 725
uraninita, 619
uranio, 562
ureidos, 607
urocordados, 707
urodelos, 713

V

valencia, 513
vanadio, 560
Van Beneden (Edouard), 631
Van Helmont (J.B.), 506
Van't Hoff (Jacobus Henricus), 506
Van't Hoff (Ley de), 514
variaciones hereditarias, 683
vasos sanguíneos, 666
venas, 665
vertebrados, 708
Vesalio (Andrea), 630
vida (Origen de la), 649
Vinci (Leonardo de), 610
vista (Órgano de la), 677
vitaminas, 607, 634
volcanismo, 623

W

Wegener (Alfred), 610
Wolff (Caspar Friedrich), 631
wolframio, 562
wolframita, 619

X

xenón, 534

Y

yacimientos, 616
yeso, 617
yodo, 523
yodoformo, 579

Z

zoogeografía, 761, 762
zoologia, 652-728

Esta obra se terminó de imprimir en agosto de 1988
en los talleres de Litografía Senefelder,
Calle Bernal Díaz 33, México, D.F.

La encuadernación fue elaborada en Ediciones
Intercontinentales, S.A. Calle Nardo 48
San Bernardino, Xochimilco.

La edición consta de 5 000 ejemplares